



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Tecnología Electrónica

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

TRABAJO FIN DE GRADO

Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (5): Cuentacuentos interactivo (II)

Autor: Luis Javier Martínez Belotto

Tutor: Ricardo Vergaz Benito

Leganés, Septiembre de 2012

Título: DESARROLLO DE UNA AYUDA TÉCNICA PARA ALUMNOS DEL COLEGIO
SAN RAFAEL (5): CUENTACUENTOS INTERACTIVO (I)

Autor: LUIS JAVIER MARTÍNEZ BELOTTO

Director: RICARDO VERGAZ BENITO

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día __ de _____ de
20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Pensé que nunca llegaría la hora de ponerme a escribir esta parte, miro atrás y la verdad que hay un montón de gente que ha hecho aportaciones a este proyecto, pequeñas y grandes, pero sobre todo hay mucha gente que se ha preocupado, espero no dejarme a nadie.

Sin duda no puedo pasar por alto a Gonzalo, mi compañero de trabajo. Todavía me acuerdo del momento en el que me preguntó si quería hacer este trabajo con él, en su día no dude pero está claro que volvería a repetirlo. Creo que el éxito de este trabajo ha sido el poder trabajar en equipo, el poder tener siempre una segunda opinión, una compañía en las duras tardes, y a veces más de una noche de laboratorio.

También ha sido clave el apoyo que he recibido en casa, por parte mis padres, Luis y Maritere, y de mis hermanos Beatriz y Miguel. Normalmente tenían que aguantar lo malo, las quejas: “que si esto no sale” o “que si hoy no se ha avanzado nada” pero el apoyo recibido y el que siempre confiaran en mí me ha ayudado a seguir adelante y conseguir terminar este trabajo.

Quiero agradecer especialmente a mi novia, Sara, que durante todo este tiempo me ha estado aguantando y escuchando cada cosa que le decía sobre el trabajo, ha sabido siempre escucharme. Pasar tiempo con ella también me ha ayudado a desconectar y ver las cosas de otro modo.

En especial durante toda la carrera, pero también desde siempre, a mi amigo y compañero de Universidad, Miguel, que ha sabido darme consejos y animarme a seguir adelante.

Dar las gracias a todos los compañeros de Universidad durante estos cuatro años, sobretodo a los que han estado en esta etapa final mostrando un gran interés, incluso dispuestos a ayudar y aportar ideas. En especial a Mike y a Torrija, que se han pasado más de una vez por el laboratorio a ver como avanzaba el lector y nos han hecho pasar un rato agradable. Además no me puedo olvidar de Jesús, compañero de laboratorio, con él hemos compartido tardes enteras, ha sido un placer conocerle y compartir el laboratorio con él, nos ha enseñado un montón y nos hemos reído todavía más.

Obviamente tengo que agradecer a todos mis amigos y amigas que han estado ahí, es imposible que nombre a todos pero estoy seguro que cada uno se va a identificar con estas palabras, vuestra preocupación e interés por este trabajo al fin tiene su fruto.

A unas personas que han jugado un papel muy importante en este trabajo: Jesy, Raquel y Javi, personal del Colegio San Rafael, desde el primer momento nos hicieron sentir uno más en el centro y mostraron un servicio increíble.

Finalmente, al personal docente de la Universidad que ha facilitado que este trabajo salga adelante: Juan Carlos Torres, del departamento de Tecnología Electrónica, que ayudó en la tarea del microprocesador dándonos alguna nociones básicas; Alberto Valero, del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, que nos facilitó el uso de la impresora 3D de su departamento y como no, darle las gracias a Ricardo Vergaz, del departamento de Tecnología Electrónica, ha sido mi tutor de trabajo, siempre ha estado dispuesto a echar un cable, pero sobretodo porque ha sabido guiarnos hasta llegar aquí.

Una vez más, gracias a todos.

Resumen

Este trabajo Fin de Grado implementa una ayuda técnica para alumnos del colegio del Hospital San Rafael, niños con diferentes grados de discapacidad. A través de la relación causa-efecto, un cuento interactivo servirá como excusa para aumentar sus habilidades cognitivas y de relación con el entorno.

El trabajo forma parte de una pareja: aquí se implementa la ayuda diseñada en el trabajo de Gonzalo Guzmán Martín, las memorias se presentan por separado, a fin de mostrar de forma ordenada el proceso de creación de un trabajo que ha sido realizado en una estrecha labor de equipo.

En esta memoria se explica paso a paso cómo se ha de implementar el cuentacuentos interactivo. Para cada una de las fases siempre se ha seguido el mismo procedimiento: partiendo de los diseños previos descritos por Gonzalo Guzmán Martín se ha ido implementando y probando hasta cumplir con los objetivos finales. Además a lo largo del trabajo se detallan todo tipo de aspectos que han ido surgiendo durante la implementación de los diseños previos.

Respecto la ayuda técnica: los alumnos son los protagonistas de este trabajo, ellos serán los encargados de continuar el cuento o aprender la lección, siempre y cuando acierten eligiendo la pieza correcta. La idea es sencilla, desde una pantalla proyectaremos una serie de imágenes y sonidos para captar la atención de los alumnos, esta proyección les formulará preguntas para poder continuar. Los alumnos tendrán delante un determinado número de piezas (con un picto diferente en cada una) y entre las cuales está la solución. Elegirán lo que crean conveniente y acercarán la pieza sobre una base rectangular, el lector. En caso de elegir la pieza correcta la proyección continuará.

¿Cómo? Gracias a la RFID (Radio Frequency IDentification) y a la función de un microcontrolador esto será posible. Cada pieza tendrá una etiqueta pasiva RFID codificada en binario.

Al ser acercada al lector este transmitirá dicha información al microcontrolador. El lector tiene un circuito electrónico, compuesto por una serie de etapas que reciben la información almacenada en las tarjetas y un microcontrolador encargado de procesar la información. El microprocesador será el encargado de indicar por medio de unas señales luminosas al pedagogo si la pieza escogida por los niños es la correcta o no.

Palabras clave: alumnos, ayuda técnica, discapacidad, RFID, tarjeta, lector, pieza, impresora 3D, micro, picto, lección, cuento.

Abstract

This Final Degree Project implements a technical assistance for Hospital San Rafael's School students with different degrees of disability. Through the cause-effect relationship, an interactive story will serve them as an excuse to increase their cognitive skills and relationships with the environment.

The Project has been carried out by two Degree students: the technical assistance designed by Gonzalo Guzman Martín is implemented here and, on the other hand, the memories are being presented separately in order to show neatly the creation process of a work that has been done in a close group-work.

In this memory it is explained step by step how the interactive storyteller has been implemented. For each of these phases the same procedure is repeated: every previous design that is described by Gonzalo Guzmán Martín in his Degree Final Work has been implemented and tested until achieving the final objectives. Furthermore along the memory are detailed all kinds of aspects that they have been arising during the previous design implementations.

Regard to the technical assistance: the students are the starring of this project. They will be responsible for continuing the story or learning the lesson, only if they choose the right piece. The idea is simple, from a screen we will project a series of images and sounds to catch the attention of the students up, this projection will formulate questions to continue. The students will have in front of them a determinate number of pieces (with a different pict in each) and between which is the solution. They will have to choose what they see it fits and will bring the piece on a rectangular base, the scanner. If they choose the correct piece the projection will continue.

How? Thanks to the RFID (Radio Frequency IDentification) and the function of a microcontroller that make this possible. Each piece will have a passive RFID tag encoded in a binary code.

As you approach the piece to the scanner, this transmits this information to the microcontroller. The scanner has an electronic circuit consisting of a series of stages that receive the information stored on cards and a microcontroller responsible for processing the information. The microprocessor will be responsible for indicating by light signals to the teacher if the piece chosen by the children is right or not.

Keywords: students, technical assistance, disability, RFID card reader, piece, 3D printer, microprocessor, pict, lesson, story.

Índice general

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.3 Fases del desarrollo	14
1.4 Medios empleados	17
1.5 Estructura de la memoria	19
2. CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	20
2.1 Construcción de la caja del lector.	20
2.2 Impresión de las piezas interactivas.....	26
2.3 Construcción electrónica	32
2.3.1 <i>Adquisición de las tarjetas.</i>	34
2.3.2 <i>Circuito 1.</i>	36
2.3.3 <i>Circuito 2.</i>	40
2.3.4 <i>Circuito 3.</i>	45
2.3.5 <i>Circuito 4.</i>	47
2.3.6 <i>Programación del microcontrolador.</i>	49
2.3.7 <i>Consumo del sistema.</i>	55
3. CAPÍTULO 3. RESULTADO DE OPERACIÓN	59
3.1 Resultado Electrónico.....	59
3.2 Resultado del microcontrolador.....	66
3.3 Resultado Final	68
4. CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	70
5. CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO	72
5.1 Coste Material	72
5.2 Coste Personal	73
6. CAPÍTULO 6. GLOSARIO	74
7. CAPÍTULO 7. REFERENCIAS.....	75
8. ANEXO 1. PROGRAMACIÓN MICROCONTROLADOR	76

Índice de figuras

Figura 1. Colegio San Rafael.....	12
Figura 2. Diagrama de Gantt.....	15
Figura 3. Fuente HY33003D3	18
Figura 4. Generador funciones TG320.....	18
Figura 5. Osciloscopio DS1062C.....	18
Figura 6. Polímetro 37RA.....	19
Figura 7. Diseño de la caja del lector	20
Figura 8. Despiece de la plancha inicial	21
Figura 9. Medidas de un adaptador USB	22
Figura 10. Detalle caja del lector I	22
Figura 11. Caja lector I	23
Figura 12. Detalle velcro de la caja del lector II.....	23
Figura 13. Caja del lector II	24
Figura 14. Detalle caja del lector III	24
Figura 15. Detalle caja del lector IV	24
Figura 16. Detalle caja del lector V	25
Figura 17. Detalle caja del lector VI	25
Figura 18. Impresora 3D	26
Figura 19. Prototipo 1	26
Figura 20. Prototipo 2 – Pieza interactiva 1.....	27
Figura 21. Prototipo 2 – Pieza interactiva 2.....	27
Figura 22. Pomos	27
Figura 23. Prototipo 2 – Pieza interactiva 3 + Pomo prisma.....	28
Figura 24. Prototipo 2 – Pieza interactiva 3 + Pomo semiesfera	28
Figura 25. Base común pieza interactiva	29
Figura 26. Pieza interactiva 1 final.....	29
Figura 27. Pieza interactiva 2 final.....	29
Figura 28. Pieza interactiva 3 final + p. semiesfera	29
Figura 29. Pieza interactiva 3 final + p. prisma	29
Figura 30. Proceso de montaje de la pieza interactiva 1	30
Figura 31. Piezas distinguidas	30
Figura 32. Colores utilizados en la lección	31
Figura 33. Piezas interactivas finales	31
Figura 34. Comparación tamaño tarjeta RFID	34
Figura 35. Tarjeta RFID.....	35
Figura 36. Pieza de sujeción PCB.....	36
Figura 37. Circuito 1: diseño teórico.....	37
Figura 38. Prueba circuito 1.....	37
Figura 39. Resultado diseño final oscilador de relajación	38

Figura 40. Circuito 1: diseño final	39
Figura 41. Circuito 1: Lay-out.....	39
Figura 42. Circuito 1.....	40
Figura 43. Circuito 2: diseño teórico.....	41
Figura 44. Diseño de inductancias, Wheeler	41
Figura 45. Enrolla antena.....	42
Figura 46. Antena.....	43
Figura 47. Sin VS con buffer.....	43
Figura 48. Circuito 2: diseño final	44
Figura 49. Circuito 2: lay-out.....	44
Figura 50. Circuito 2 con antena	45
Figura 51. Circuito 2	45
Figura 52. Circuito 3: diseño teórico.....	46
Figura 53. Circuito 3: diseño final	46
Figura 54. Circuito 3: lay-out.....	47
Figura 55. Circuito 3	47
Figura 56. Circuito 4	48
Figura 57. Circuito 4: lay-out.....	49
Figura 58. Circuito 4	49
Figura 59. Señal recibida por el microcontrolador	50
Figura 60. Codificación de las tarjetas RFID.....	50
Figura 61. Información de la codificación.....	51
Figura 62. Diagrama de flujo Función main.....	53
Figura 63. Diagrama de flujo Interrupción1.....	54
Figura 64. Diagrama de flujo Interrupción timer0.....	54
Figura 65. Fuente alimentación, opción A	55
Figura 66. Fuente alimentación, opción B	55
Figura 67. Fuente de alimentación	56
Figura 68. Interruptor de pera.....	57
Figura 69. Circuito de adaptación para el 7809.....	57
Figura 70. Circuito de adaptación para el 7909.....	58
Figura 71. Circuito de adaptación.....	58
Figura 72. Circuito 1: medidas realizadas	59
Figura 73. Medida 1	60
Figura 74. Medida 2	60
Figura 75. Medida 3	61
Figura 76. Circuito 2: medidas realizadas	61
Figura 77. Medida 4	62
Figura 78. Medida 5	62
Figura 79. Medida 6	63
Figura 80. Circuito 3: medidas realizadas	63
Figura 81. Medida 7	64

Figura 82. Medida 8	64
Figura 83. Medida 9	65
Figura 84. Medida 10 – Señal que recibe el microcontrolador	65
Figura 85. Medida conjunta 1	65
Figura 86. Resultado microcontrolador I	66
Figura 87. Resultado microcontrolador II	67
Figura 88. Resultado microcontrolador III	67
Figura 89. Entorno del sistema	68
Figura 90. Detalle funcionamiento del sistema I	69
Figura 91. Detalle funcionamiento del sistema II	69

Índice de tablas

Tabla 1 . Orificios de la caja lector

Tabla 2. Resultado de las tarjeta RFID

Tabla 3. Valores inicales VS finales

Tabla 4. Medidas de Inductancia de la antena

Tabla 5 . Mediciones Tarjeta 1

Tabla 6. Mediciones tarjetas RFID

Tabla 7. Pines de conexión del microprocesador

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 *Introducción*

El trabajo a implementar es un diseño que surgió de la relación existente entre el Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas de la Universidad Carlos III y el colegio San Rafael con el que ya se había colaborado en ocasiones anteriores para desarrollar ayudas y dispositivos que faciliten la vida a los alumnos y la enseñanza al personal del colegio.

A continuación se expone los antecedentes del colegio San Rafael, también citados en la memoria de Gonzalo Guzmán Martín [1].

El colegio de educación especial Hospital San Rafael se trata de un colegio cuyos alumnos son niños con serias dificultades motoras y cognitivas en el que se abarca un tratamiento completo tanto a nivel pedagógico como motriz de comunicación, salud, alimentación, etc. El centro está organizado en torno a tres grupos de trabajo:

- Educación infantil para niños de entre 3 y 6 años.
- Educación básica obligatoria para alumnos de entre 6 y 16 años.
- Transición para la vida adulta para alumnos entre 16 y 21 años.



Figura 1. Colegio San Rafael

En dicho colegio se trata con alumnos de toda clase de dolencias desde parálisis cerebral a enfermedades degenerativas de todo tipo de índole consideradas como “Enfermedades raras”. A pesar de las dificultades de los niños debidas a sus diversos problemas, consiguen en gran manera superarlas gracias a la ayuda del personal del centro, siendo este personal de todo tipo desde profesores de educación especial a terapeutas pasando por psicólogos y logopedas.

Centrándonos de nuevo en este trabajo, esta ayuda técnica surge ante la idea del personal del centro de crear un dispositivo que sirviera como apoyo para las actividades de los alumnos tanto desde el punto de vista de adquirir conocimientos por medio de lecciones como desde un punto de vista mucho más lúdico haciendo a los niños partícipes de la narración de sus cuentos. Su idea era hacer un cuentacuentos interactivo, en el cual, mientras se estaba proyectando un cuento o lección, los alumnos fuesen los que continuaran el cuento mediante el uso de piezas interactivas o algo similar, algo que desarrollara sus capacidades motoras y a la vez que les sirviera de aprendizaje.

Con estos antecedentes, el colegio se puso en contacto con el grupo de investigación, en concreto con Ricardo Vergaz, para pedirle ayuda en la ejecución de su idea.

1.2 Objetivos

El objetivo fundamental de este trabajo es la implementación y construcción del diseño de una ayuda técnica que sirva tanto de juguete como de ayuda al aprendizaje a los alumnos del Colegio San Rafael, desarrollando así sus capacidades tanto motoras como intelectuales. Hay que decir que la construcción parte del diseño desarrollado en la memoria de Gonzalo Guzmán Martín [1], por lo que partiendo de esta, la ayuda técnica debe cumplir con los requisitos ahí indicados así como con los objetivos que se expusieron en dicha memoria.

En modo resumen, a continuación se expone la ayuda técnica: el dispositivo consta de unas piezas con un picto y una base donde se irán acercando las piezas anteriores. Para el desarrollo de la actividad se irán proyectando escenas del cuento o lección según convenga. La idea es que la proyección avance a medida que el alumno acerca la pieza adecuada.

Además este dispositivo debe cumplir una serie de especificaciones de diseño, que han sido acordadas con el personal del Colegio. Estas especificaciones se refieren a aspectos de tamaño, funcionalidad y temática:

- **Objetivo 1.**
Las piezas han de ser universales. Se utilizarán para distintos cuentos o lecciones, se las numerará para facilitar su identificación y modificación al personal del centro.
- **Objetivo 2.**
Las piezas deben cumplir un tamaño y una forma que facilite la interacción de los alumnos con ellas. Suficientemente grandes para que el picto sea legible por los alumnos con dificultades visuales y además, suficientemente ergonómicas para facilitar el manejo a los alumnos con discapacidades motoras.
- **Objetivo 3.**
La detección de las piezas se ha de hacer mediante un sistema inalámbrico.
- **Objetivo 4.**
El lector ha de tener un tamaño adecuado acorde con el tamaño de las piezas.

- Objetivo 5.

El lector debe tener algún medio de comunicación con los ordenadores del centro, para poder proyectar el cuento o lección. Luego debe ser compatible con la tecnología del centro y a poder ser utilizar Software libre.

- Objetivo 6.

El dispositivo en conjunto debe cumplir con los principios del “Diseño para todos”, es decir, realizar un dispositivo que pueda ser utilizado por el mayor número posible de personas, sin necesidad de adaptaciones o modificaciones.

- Objetivo 7.

La lección se tiene que adaptar a las necesidades de los alumnos. Tanto respecto a los conocimientos y contenidos que se impartirán como en la manera de ser transmitidos, texto concisos acompañados de imágenes y sonido.

1.3 Fases del desarrollo

Para explicar cómo se ha desarrollado la implementación de esta ayuda técnica, se hará una referencia a la memoria de Gonzalo Guzmán Martín, [1], concretamente a al diagrama de Gantt de la **figura 2**.

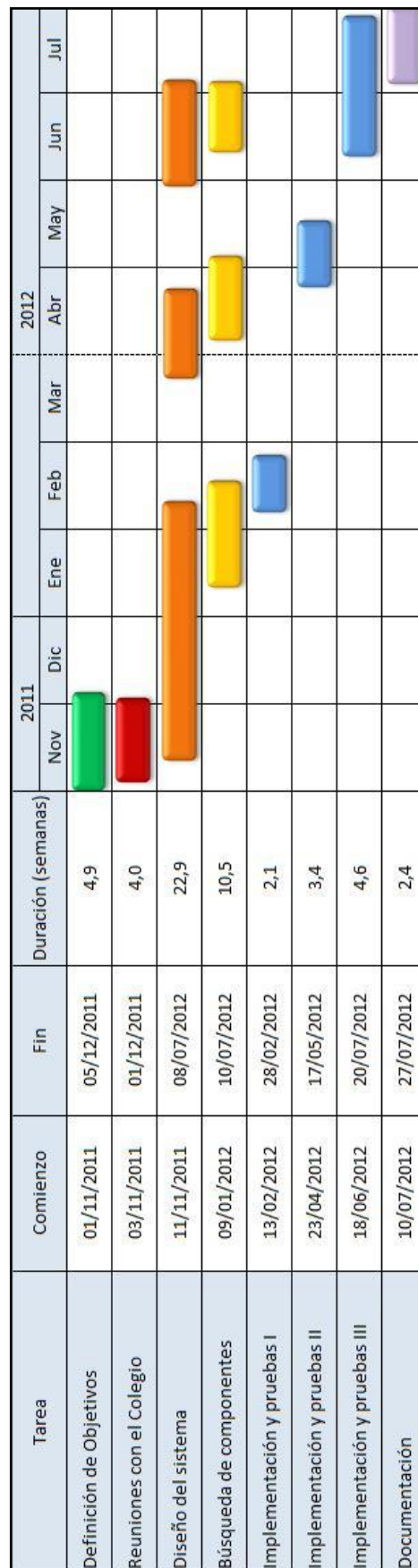


Figura 2. Diagrama de Gantt

Como se puede comprobar se distinguen seis fases en el desarrollo del trabajo:

- **Definición de objetivos.** Fue necesario realizar un estudio de las necesidades del trabajo y de las posibles soluciones de desarrollo.
- **Reuniones con el Colegio.** Adecuar los objetivos con las necesidades y especificaciones del Colegio.
- **Diseño del sistema.** Una vez conocidas las necesidades del sistema y definidas las especificaciones del dispositivo se realizó tanto el diseño electrónico como el mecánico.
- **Búsqueda de componentes.** Encontrar cada uno de los elementos necesarios que componen nuestro dispositivo.
- **Implementación y pruebas.** Finalizado el diseño y conociendo los elementos requeridos, se procede al montaje de los circuitos eléctricos en el laboratorio. Y posteriormente la verificación y arreglo de los fallos que fueron surgiendo.
- **Documentación.** Recopilación de información, ensayos y diseños para la redacción del documento de la memoria.

Parte de las fases y del tiempo que se representan en el diagrama de Gantt han sido trabajo en equipo, ya que había veces que era necesario tener en cuenta ciertos detalles del diseño mientras se construía y viceversa. A continuación el texto se centra más en cómo se ha desarrollado la fase de implementación y pruebas, que es la que abarca principalmente este trabajo.

Implementación y Pruebas.

El procedimiento siempre ha sido el mismo: se ha partido del diseño teórico y se ha ido implementando, y a veces cambiando hasta llegar al objetivo que debía cumplir. Ha servido tanto para la construcción de la caja del lector como para cada uno de los circuitos que hacen que funcione el sistema. Este es el procedimiento:

- Asimilación del diseño.
Tener claro qué se tiene que implementar, qué hay que tener en cuenta y qué no, precauciones o detalles que no se deben pasar por alto. Por ejemplo, al construir la caja, saber dónde hay que taladrar y el tamaño de los orificios que se tienen que hacer.
- Organización del material necesario.
Tener todos y cada uno de los materiales necesarios. Por ejemplo, al implementar un circuito: tener de antemano cada una de las resistencias, condensadores y amplificadores operacionales necesarios.
- Implementación.
Digamos que es la parte donde se monta el elemento en cuestión, en el caso de la implementación de los circuitos: realizar el montaje en la placa protoboard.
- Prueba y error.

Que lo que se ha implementado funcione correctamente. El claro ejemplo también es de cada uno de los circuitos, una vez que se ha montado, se ha de probar la salida de cada subcircuito para comprobar que todo funciona como se esperaba.

- Construcción Final.
Dejar todo listo y de la mejor manera posible, para que quede agradable a la vista y sobre todo para asegurar que su funcionamiento seguirá siendo óptimo el día de mañana.

Como nota aclarativa, para cada elemento que compone esta ayuda técnica se desarrollará y se entrará en detalles en cada uno de los apartados del capítulo 2: “Construcción del sistema”.

1.4 Medios empleados

Los medios que han sido empleados para la realización del trabajo se exponen a continuación:

Software

- Orcad.
Se trata de un software ampliamente utilizado para el diseño de circuitos electrónicos. Consta de dos bloques básico: una herramienta para la simulación del comportamiento del circuito electrónico y otra para el diseño de placas en circuito impreso. Con él se han realizado tanto las simulaciones de los circuitos como las PCBs de ellos.
- Silicon Laboratories y ToolStick Terminal.
Herramienta utilizada tanto para programar el código del micro procesador como para probarlo.
- OpenSCAD.
Herramienta CAD de software libre para la creación de objetos sólidos en 3D. Con él se han diseñado las piezas interactivas.
- ReplicatorG.
Software utilizado para poder imprimir los diseños generados en open scad en las impresoras 3D. Con él se han impreso las piezas interactivas.
- Autocad.
Programa de diseño asistido por ordenador para dibujos en dos y tres dimensiones. Se ha utilizado para los planos de la caja del lector.
- Rhinoceros.
Herramienta para el modelado en tres dimensiones basado en NURBS (modelo matemático para representar y generar curvas y superficies). Se ha utilizado para el diseño 3D de la caja del lector.
- Flash. Programa de creación y manipulación de fotogramas con animaciones. Utilizado para la creación del cuento.

- Sound Forge Pro. Programa de la casa Sony para la edición de sonidos. Se ha utilizado para cambiar el formato de los archivos a uno compatible con Flash.

Laboratorios e Instrumentos

La construcción de este trabajo se ha llevado a cabo en dos laboratorios de la Universidad Carlos III:

- Laboratorio de soldadura y taladro. En este lugar se ha realizado el taladro de cada una de las 4 placas utilizadas.
- Laboratorio de trabajo del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas del departamento de Tecnología Electrónica (GDAF-UC3M). Este ha sido el lugar donde se ha construido el trabajo, aquí se han montado los diseños iniciales, las placas, se han realizado las pruebas y se han desarrollado el resto de actividades constructivas del trabajo. Hemos tenido al alcance estos instrumentos:
 - Fuente HY3003D3. Fuente de alimentación, gracias a esta se ha alimentado el circuito a ± 9 V durante la fase de prueba.



Figura 3. Fuente HY3003D3

- Generador Funciones TG320. Genera ondas cuadradas, senoidales o triangulares. Capaz de generar señales de hasta 3 MHz. Se ha utilizado para generar señales clave para poder probar una placa sin necesidad de otra.



Figura 4. Generador funciones TG320

- Osciloscopio DS1062C. Instrumento de medida, utilizado para medir las señales en cualquier punto del circuito.

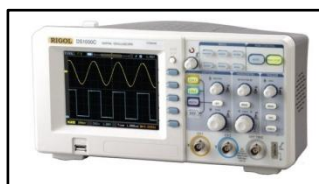


Figura 5. Osciloscopio DS1062C

- Polímetro 37RA. Instrumento de medida, utilizado para medir resistencias, condensadores, valores de tensión y continuidad.



Figura 6. Polímetro 37RA

- Soldador Antex 660TC. Utilizado para soldar cada uno de los componentes (resistencias, condensadores, jumpers, etc.) en las diversas placas.

1.5 Estructura de la memoria

Para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de cada capítulo.

- **Capítulo 1.** Introducción y objetivos. Se introduce el trabajo realizado para dar al lector un idea clara de lo que se ha realizado. Partimos de unos objetivos, que explican el porqué de este trabajo, más tarde un diagrama de Gantt para mostrar las fases de desarrollo del trabajo y por último los medios empleados que hemos tenido a nuestro alcance.
- **Capítulo 2.** Construcción del sistema. En este capítulo se explica cada una de las partes en las que se ha dividido la construcción.
Primero se explica la construcción de la caja donde irá colocada toda la circuitería, a continuación se explican las piezas interactivas utilizadas. Más adelante se explica la programación del micro utilizado y por último se habla del consumo del sistema.
- **Capítulo 3.** Resultado de operación. Aquí se demuestra que los resultados obtenidos concuerdan con la necesidad del diseño. Esta demostración va desde capturas desde el osciloscopio, la utilización de la herramienta ToolStick Terminal y una demostración visual del funcionamiento.
- **Capítulo 4.** Conclusiones y trabajos futuros. Se realiza una evaluación de lo que ha sido el trabajo comentando posibles mejoras y vías de desarrollo posteriores.
- **Capítulo 5.** Comprende el presupuesto del trabajo, incluyendo tanto los gastos del material para el circuito electrónico y para la caja del lector, como las horas de trabajo dedicadas para el diseño y la implementación del trabajo.
- **Capítulo 6.** Glosario. Incluye la aclaración de algunos términos utilizados en este documento.
- **Capítulo 7.** Se mencionan y referencian los libros y artículos consultados para el diseño y elaboración del trabajo.

Capítulo 2. Construcción del sistema

2.1 Construcción de la caja del lector.

La base, o caja del lector, funciona como una estructura hueca donde irá toda la circuitería y las fuentes de alimentación, por lo que tiene que ser un lugar seguro y resistente. Concretamente las especificaciones del diseño son las siguientes:

- Tamaño similar a un folio.
- Diseño robusto.
- Fácil montaje.
- Bajo coste.

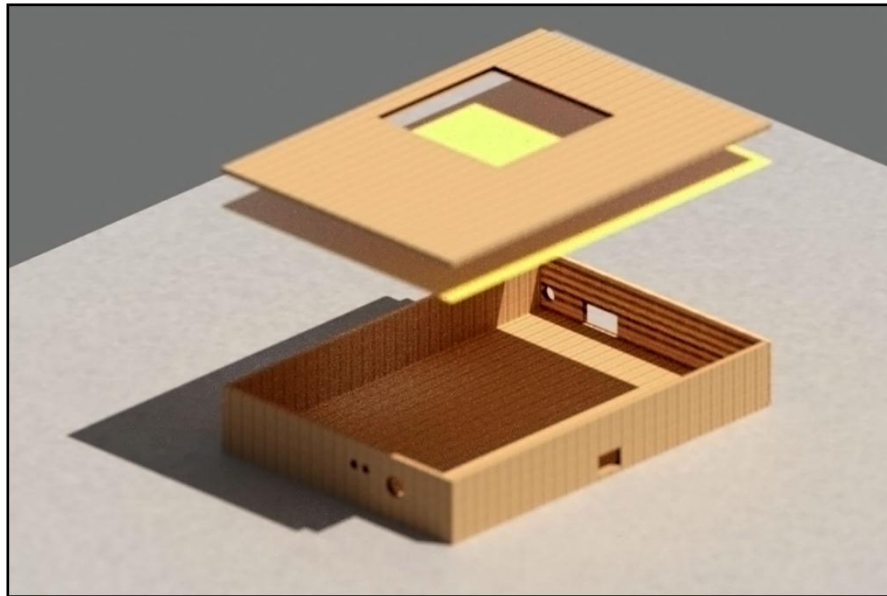


Figura 7. Diseño de la caja del lector

El material escogido para la construcción de la base es el contrachapado. Una de las opciones que se barajó fue la madera de balsa debido a su fácil maleabilidad, pero el precio respecto al del contrachapado era similar y utilizando contrachapado se aseguraba más robustez. Finalmente se utilizó una plancha de contrachapado de 60x30 cm.

Para realizar el corte de cada una de las piezas se utilizó una sierra de calar BOSCH 500W PST. Una vez cortado el tablón, tuvimos que limar e igualar las piezas ya que los cortes realizados no fueron perfectos. La **figura 8** corresponde al resultado del despiece de la plancha inicial.



Figura 8. Despiece de la plancha inicial

Después, se procedió a taladrar las piezas laterales creando los orificios necesarios. Concretamente se tuvieron que realizar 6 orificios, a continuación se explica cada uno de los orificios necesarios y su tamaño, según sus características o medidas realizadas a cada componente:

- Led de encendido y Led OK. Ambos leds se obtuvieron del laboratorio del departamento, para medir su diámetro utilizamos un calibre. El orificio que se realizó es del mismo tamaño que el de los led, un círculo de diámetro de 6 mm.
- Botón Reset. Es un pulsador circular que también se obtuvo del laboratorio, el diámetro se midió con un calibre: 14 mm.
- Cable alimentación. Obtenido y medido en el laboratorio mediante un calibre. La medida del orificio es de 10 mm.
- Interruptor. Este interruptor de pera irá colocado en el interior de la caja, luego el orificio no ocupa toda la medida del interruptor, sino solo la parte en la que se ve el botón. Se ha creído conveniente que el orificio sea 30x15 mm. para que se vea el botón lo suficientes y sea fácil pulsarlo.
- USB. En este caso, la conexión USB del Toolstick Terminal también irá colocada en el interior por lo que se necesita un hueco suficientemente grande como para que un cable USB entre pero a su vez quede enganchado a la conexión USB. Para ello, se han consultado las medidas comunes de un adaptador USB, y se muestran en la **figura 9**.

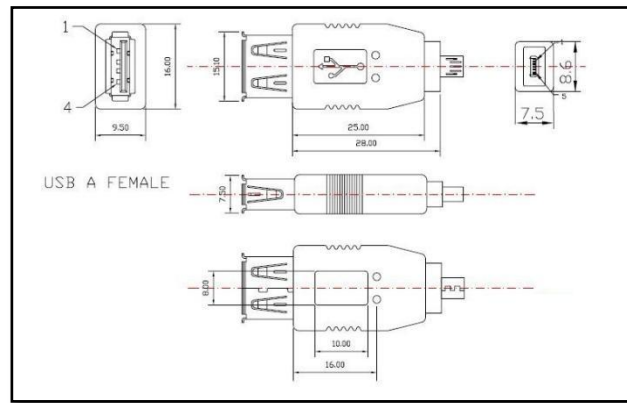


Figura 9. Medidas de un adaptador USB

Para asegurarse que el hueco fuese lo suficientemente grande, se decidió aumentar el tamaño en 5 milímetros, quedándose el orificio en 20x13 mm.

A modo de resumen, en la **tabla 1** se describe el concepto y el tamaño de cada uno de los orificios:

Concepto	Tamaño
Led de encendido	Ø 6 mm
Led OK	Ø 6 mm
Reset	Ø 14 mm
Cable alimentación	Ø 10 mm
Interruptor	30x15 mm
USB	20x13 mm

Tabla 1 . Orificios de la caja lector

Con las piezas laterales ya preparadas, se comenzó el montaje parcial de la caja. Este montaje parcial incluía todo menos la pieza tapa. La unión entre las piezas la realizamos mediante cola blanca, pero para aportar mayor sujeción utilizamos unos tacos de madera entre pieza y pieza, ver **figura 10**.

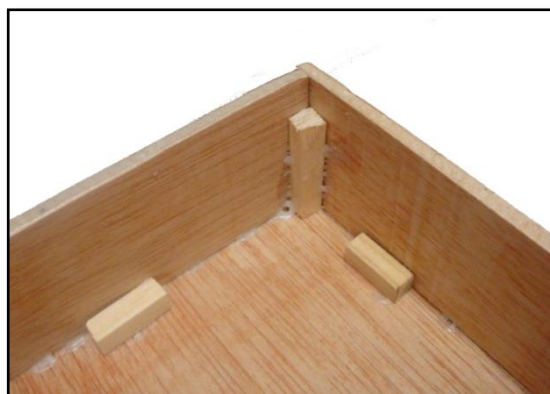


Figura 10. Detalle caja del lector I

Una vez realizado el montaje parcial, se procedió a montar la tapa. La tapa está sujeta al resto de la caja mediante unas bisagras que permitirán que se pueda colocar cada uno de los elementos del sistema en el interior y posteriormente tapar la caja sin problemas, es decir, principalmente facilita tener acceso al interior. Para mayor aclaración, ver la **figura 11**, que corresponde al montaje de la caja lector.



Figura 11 . Caja lector I

Por indicación del personal del colegio, colocamos velcro en el interior de la caja, ya que es un material que se usa en el centro para sujetar juguetes en las mesas que tienen los alumnos en sus sillas de ruedas, incluso algunos alumnos utilizan guantes especiales para coger cosas a las que las ponen velcro. El resultado de la caja con velcro se puede ver en la figura 12.



Figura 12. Detalle velcro de la caja del lector

Finalmente se unió la pieza de plástico a la tapa para cubrir el interior y que a su vez, el plástico recalcara la zona en la que se han de colocar las distintas piezas interactivas. La estructura de la caja del lector una vez acabada corresponde con la **figura 13**.

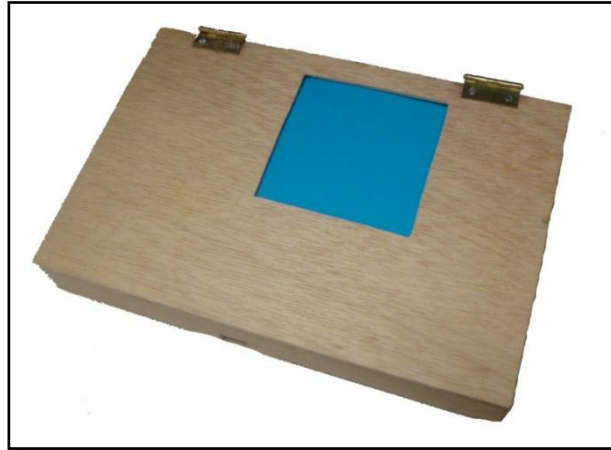


Figura 13. Caja del lector II

Con la estructura ya montada se comenzaron a ir colocando los distintos elementos que componen el sistema. Primero se introdujo el cable por su orificio y a continuación el interruptor, ver **figura 14**.

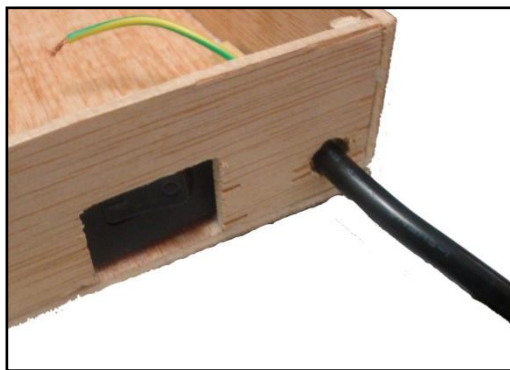


Figura 14. Detalle caja del lector III

Por el otro lateral de la caja del lector se sujetaron los leds y el botón de RESET del microcontrolador. Para poder sujetar estos elementos, se fijaron a una placa de puntos y esta placa se fijó a la pared de la pieza lateral correspondiente. Aunque en la **figura 15** aparezcan los dos leds del mismo color, finalmente se decidió utilizar un led rojo, LED para indicar que el sistema está encendido, y un led blanco, LED para indicar que se ha escogido la pieza correcta. En “Capítulo 3. Resultado de operación” se podrá ver el resultado final y el funcionamiento de cada uno de ellos.

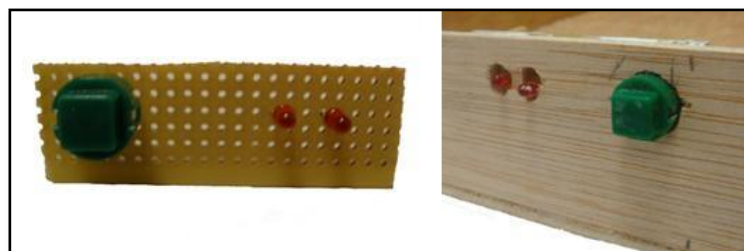


Figura 15. Detalle caja del lector IV

Para fijar las fuentes de alimentación se han creado unas escuadras con la impresora 3D. Estas escuadras van fijadas a la base y permiten que la fuente quede en un lugar adecuado. La **figura 16** corresponde a dichas escuadras y el lugar y la función que representan.

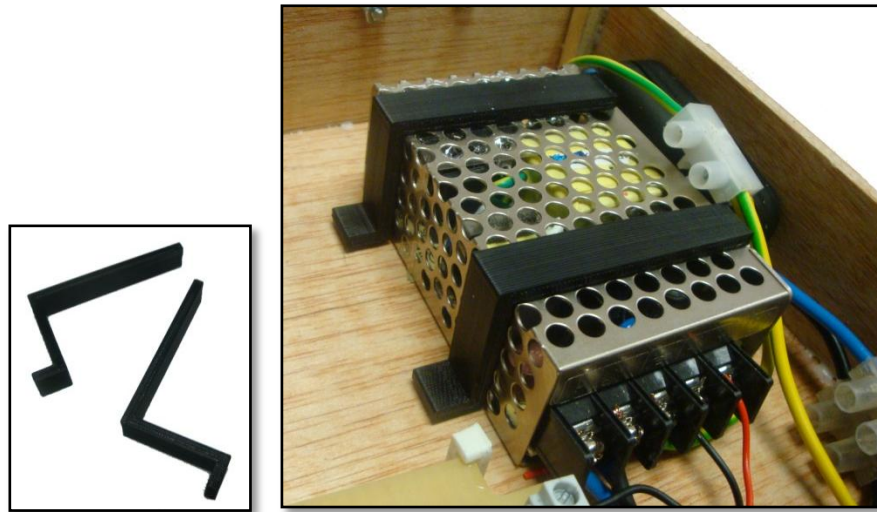


Figura 16. Detalle caja del lector V

El resto de montaje tiene que ver principalmente con cada uno de los elementos electrónicos del sistema, por lo tanto, se entrará en detalle en el apartado 2.3 de este capítulo: “2.3 Construcción electrónica”. Aun así, a continuación se muestra la **figura 17** en la cual se puede ver cada uno de los elementos del sistema colocados en su lugar adecuado. Cabe destacar que no se han colocado todos y cada uno de los cables, ya que perjudicaría a una correcta visión del conjunto del sistema.

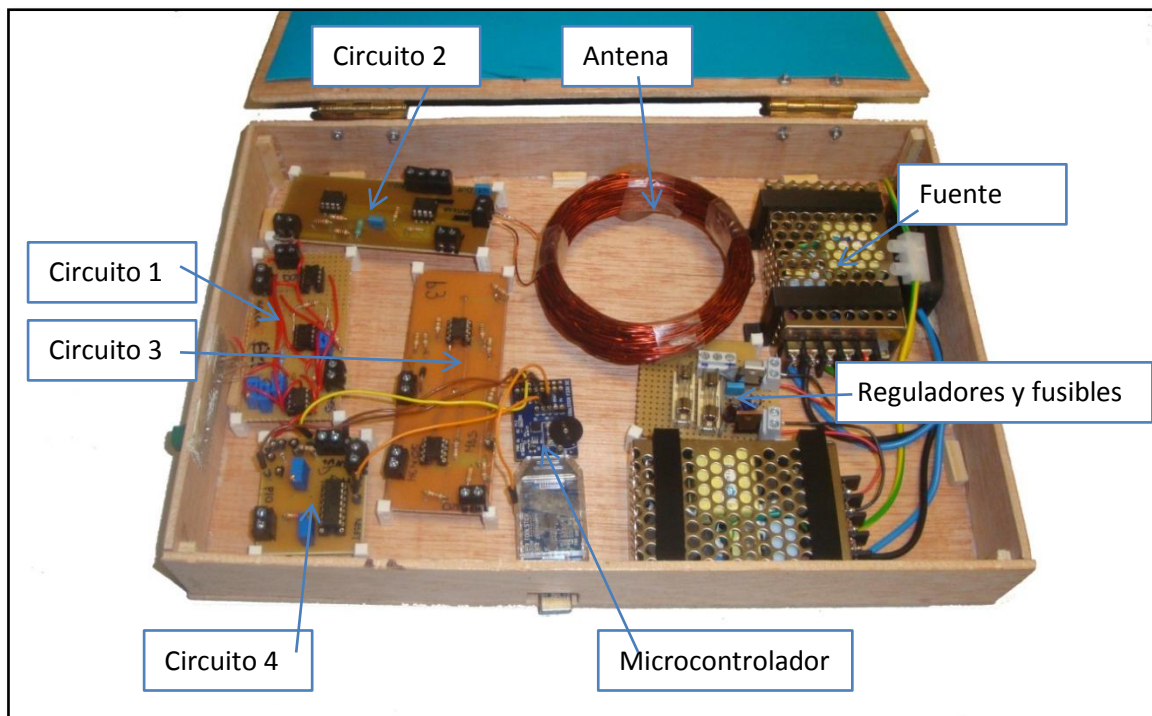


Figura 17. Detalle caja del lector VI

2.2 Impresión de las piezas interactivas.

Como ya se ha mencionado en [1], hubo que mejorar varios diseños hasta que las piezas interactivas cumplieron los requisitos. A continuación, expondremos cada una de las piezas interactivas construidas por el orden en el que se han ido diseñando.

El programa para diseñar las piezas ha sido el OpenSCAD, una herramienta libre de programación de objetos en 3D. Una vez diseñadas las piezas se cargaba el diseño en el programa ReplicatorG, plataforma para adecuar el diseño a la Impresora 3D. Por último, una vez impresas, ya estaban listas para llevar al Colegio y probarlas. La impresión de estas piezas se ha llevado a cabo en la Universidad, concretamente en el laboratorio de automatización y sistemas. En la **figura 18** se puede observar la Impresora 3D del departamento de Sistemas y Automática.

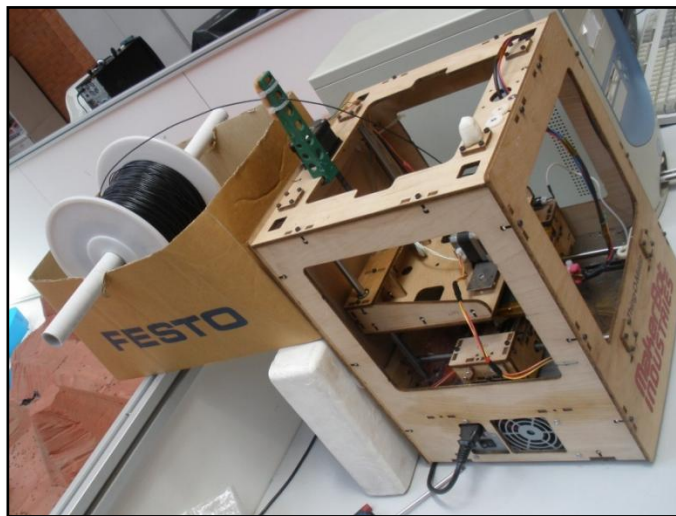


Figura 18. Impresora 3D

La primera pieza que se imprimió, prototipo 1, corresponde a la **figura 19**. Una pieza sencilla con una agujero para colocar el tag RFID y una tapa para tapar posteriormente el tag.

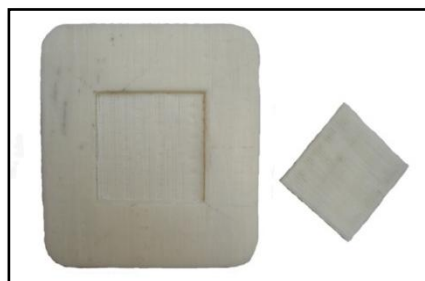


Figura 19. Prototipo 1

Tras la primera visita al Colegio surgieron otros tres prototipos, ya descritos en [1].

- Prototipo 2 – Pieza interactiva 1. **Figura 20.** Una pieza cuadrada rodeada de un borde elevado que facilita el agarre por cualquier lado ya que se puede hacer pinza con el pulgar.



Figura 20. Prototipo 2 – Pieza interactiva 1

- Prototipo 2 – pieza interactiva 2. **Figura 21.** Esta pieza también es cuadrada, pero el borde que sobresale está localizado en las esquinas, así algunos de los alumnos pueden fijar la atención en ellas y sujetar la pieza con más facilidad.



Figura 21. Prototipo 2 – pieza interactiva 2

- Pomos. **Figura 22.** Estas piezas irán colocadas en la pieza interactiva 3, como su nombre indica, su función es concentrar la atención de los alumnos en ellos y que estos puedan levantar la pieza sujetando el pomo. Hay dos tipos de pomo, uno es un prisma y otro es una semiesfera. Como se puede comprobar en la **figura 22** los pomos tienen un hueco, este hueco encajará en la pieza interactiva 3, sin necesidad de colocar pegamento ya que la unión mediante encaje es suficiente.



Figura 22. Pomos

- Prototipo 2 – pieza interactiva 3 + Pomo prisma. **Figura 23.** Esta pieza es cuadrada como las anteriores, pero no tiene ningún borde lateral, simplemente en una de las esquinas tiene un pomo que facilita que los alumnos que no puedan agarrar las anteriores se centren en el pomo y lo consigan. En este caso el pomo es un prisma.

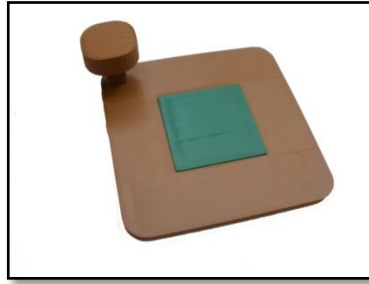


Figura 23. Prototipo 2 – pieza interactiva 3 + Pomo prisma

Tanto en esta pieza como en la siguiente, la unión que se puede observar entre la pieza interactiva 3 y el pomo se hace mediante encaje, quedando la forma final que se aprecia en la **figura 23**.

- Prototipo 2 – pieza interactiva 3 + Pomo semiesférico. **Figura 24**. La única diferencia a la anterior es el pomo, que en este caso se ha utilizado una semiesfera.



Figura 24. Prototipo 2 – pieza interactiva 3 + Pomo semiesfera

Estos prototipos descritos anteriormente resultaron ser prototipos adecuados para su utilización en el Colegio. Pero para realizar el diseño final se tuvieron que hacer ciertas modificaciones, descritas en [1]. Estas modificaciones principalmente están referidas a que el color de las piezas ha de ser negro y que la pieza en sí está compuesta por dos partes: base y otra pieza que es la que aporta el diseño característico. A continuación se detalla el resultado final de las piezas interactivas:

- Base común a todas las piezas interactivas. Como se puede observar en la **figura 25** esta pieza tiene una ranura en la que se situará la tarjeta RFID. El hueco que se diseñó tiene las medidas suficientes para que la tarjeta RFID quede oculta una vez que se pegue la parte superior de cada pieza interactiva.



Figura 25 . Base común pieza interactiva

- El resto de piezas: pieza interactiva 1 final, pieza interactiva 2 final y los dos tipos de pieza interactiva 3 final corresponden a las **figuras 26, 27, 28 y 29** respectivamente. Se acompaña del término final porque como ya se explicó en [1] las piezas finales están compuestas por una base común y otra parte que aporta el diseño característico.



Figura 26 . Pieza interactiva 1 final



Figura 27. Pieza interactiva 2 final



Figura 28. Pieza interactiva 3 final + p. semiesfera



Figura 29. Pieza interactiva 3 final + p. prisma

Como aclaración, en la **figura 30** se indica el proceso para llegar a la pieza interactiva final. En el caso de este ejemplo se ha realizado la pieza 1. Como se puede observar, primero se sitúa la tarjeta RFID sobre la base común, a continuación, se pone pegamento a la base común y finalmente se coloca la pieza que aportara el diseño adecuado sobre la base.



Figura 30. Proceso de montaje de la pieza interactiva 1

La idea de diseño para estas piezas interactivas es que su uso pueda variar, es decir, que alguna vez sirva para explicar los números, otras los colores o para contar un cuento interactivo. Para saber en todo momento que una pieza representa la pieza 1, se ha marcado cada pieza indicando que número representa. La marca se ha realizado en la parte superior, con un rotulador blanco. Esta marca va debajo del picto luego solo se verá a la hora de cambiar de picto. En la **figura 31** se pueden ver las piezas que representan a la pieza 1, la pieza 3 y la pieza 4.



Figura 31. Piezas distinguidas

Para este trabajo se ha utilizado de prueba la lección de los colores. Como ya se ha explicado en [1], en nuestra lección daremos a elegir entre cuatro opciones:

- Color Amarillo
- Color Azul
- Color Rojo
- Color Verde

Para ello, se han impreso las imágenes que mandaron los responsables de centro en un tamaño de 80x80 mm, una superficie idónea para las piezas interactivas. Se recortaron y se pegaron sobre los prototipos definitivos. Los colores utilizados son los que aparecen en la **figura 32**.

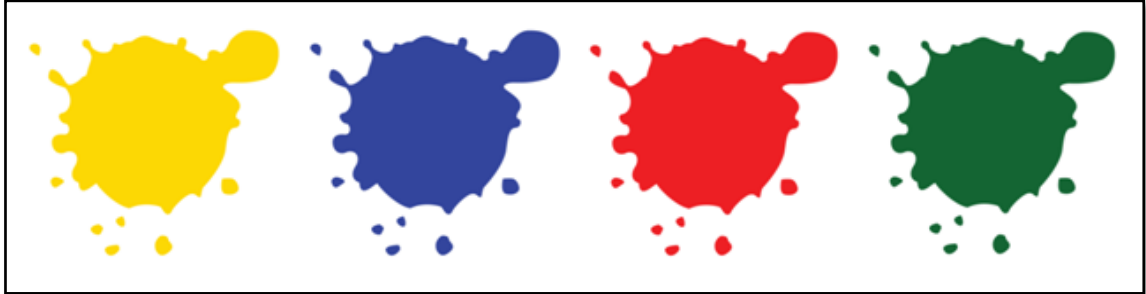


Figura 32. Colores utilizados en la lección

El resultado final de las piezas interactivas corresponde fotografía de la **figura 33**:



Figura 33. Piezas interactivas finales

2.3 Construcción electrónica

En este apartado se detalla todo lo relacionado con la electrónica del trabajo. Primero se hace una mención a la adquisición de las tarjetas RFID, después se procede a la explicación de cada una de las placas que componen el circuito electrónico del lector, más tarde se explica la programación del micro y finalmente se detalla la manera de suministrar la energía al sistema.

Cabe destacar que para la construcción de cada placa se ha partido del diseño previo. Cada una de las partes ya se ha simulado y se ha comprobado su funcionalidad en [1].

Aun así, a pesar de los cálculos previos y las correspondientes simulaciones, como cabe esperar en todo montaje experimental, en algunos casos no se ha producido el efecto esperado. Para conseguir los resultados necesarios se han realizado algunas modificaciones, que se explicarán en cada apartado correspondiente dentro de cada una de las explicaciones de las distintas placas.

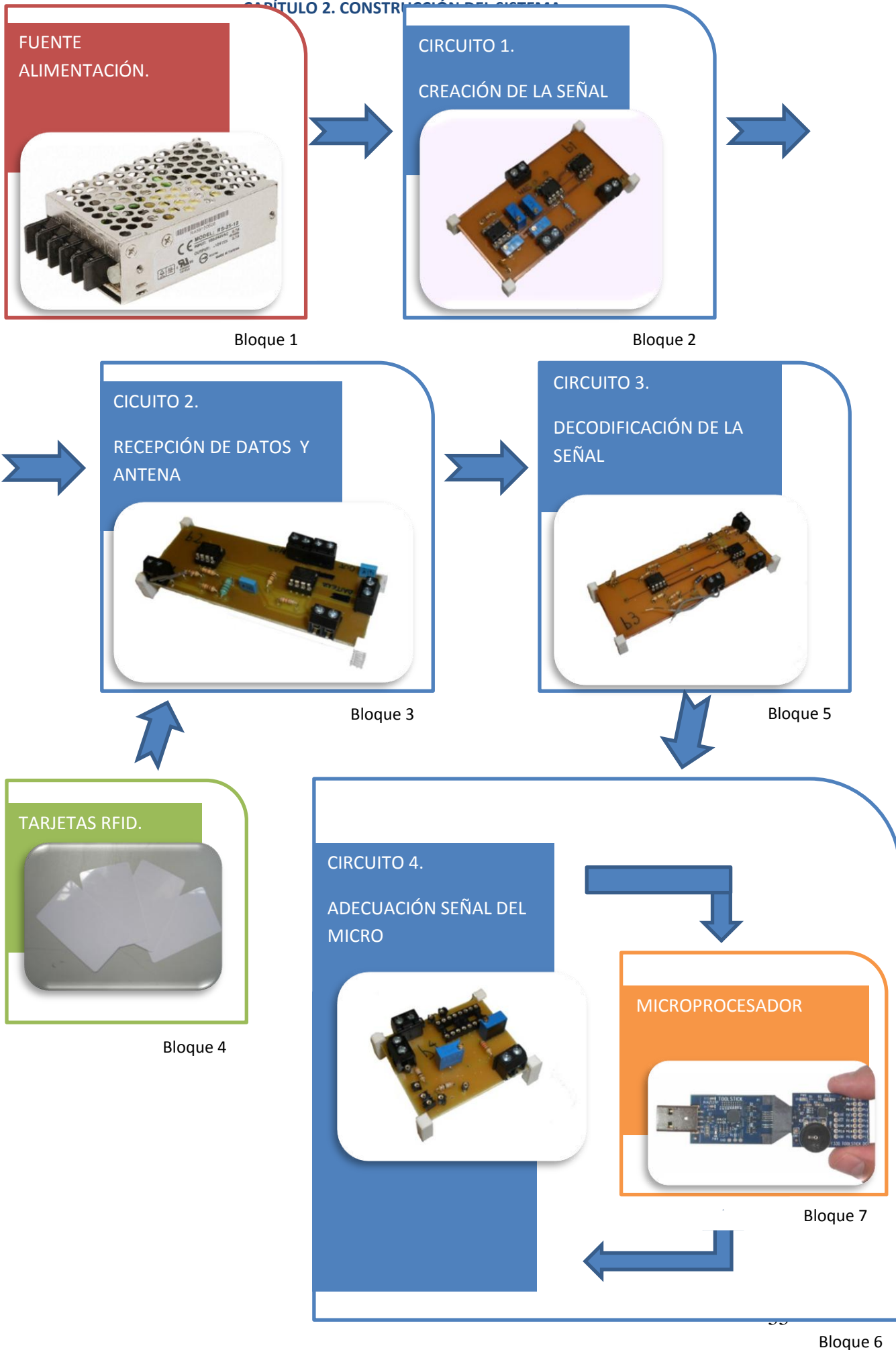
En la página siguiente se muestra un **diagrama de bloques** que servirá para que quede claro en todo momento de qué parte del lector se hablará. Además, a continuación se expone un breve resumen del diagrama de bloques.

El primer bloque que nos encontramos es la fuente de alimentación. Suministra al circuito la alimentación necesaria para que funcione. El elemento principal es la fuente en sí, pero también engloba los reguladores, para conseguir un nivel de tensión adecuado y los elementos de protección, fusibles.

Como segundo bloque se encuentra la placa 1, o circuito 1, este circuito es el encargado de crear una señal cuadrada a 125 kHz, la frecuencia necesaria para activar las tarjetas RFID. El tercer bloque se refiere al circuito 2 y a la antena. El circuito 3 convierte la señal cuadrada en una senoidal de 125 kHz y además recibe, gracias a la antena, la información que contenga la tarjeta RFID, de ahí la razón por la que el bloque 4, el de las Tarjetas RFID, esté ligado al bloque 3.

El bloque 5 representa el circuito 3. Se encarga de decodificar la señal que proviene de la antena una vez que acercas la tarjeta RFID. El resultado es una señal cuadrada que representa "1" o "0" lógicos.

Uno de los últimos bloques de este diagrama es el bloque 6. Representa al circuito 4, este circuito convierte la señal cuadrada que sale del circuito 3 en un señal cuadrada con unos valores acotados, 0 ó 3,3 V, para hacer posible la lectura del microcontrolador, además se encarga de transformar las señales que emite el microcontrolador en variaciones de tensión que hacen que los LEDs se enciendan. Debido al protagonismo del microcontrolador, el bloque 7, el del microcontrolador, está ligado al bloque 6. La función del bloque 7 es leer la información de la tarjeta y reconocer o no si la pieza es correcta.



2.3.1 Adquisición de las tarjetas.

Cuando tuvimos claras las especificaciones de las tarjetas RFID que necesitábamos procedimos a su adquisición.

Partimos de estas dos características del diseño teórico [1]:

- Frecuencia de funcionamiento 125 kHz.
- Tarjeta Pasiva.

Con una primera búsqueda en internet, encontramos que el mercado nos ofrecía variedad de artículos que cumplían estas especificaciones: llaveros, pulseras, tags del tamaño de una moneda, tarjetas tamaño carnet. Finalmente nos decidimos por las tarjetas tamaño carnet (ver **figura 34**) ya que no ocupan demasiado y sus dimensiones cumplen perfectamente los criterios de diseño respecto al tamaño de la pieza interactiva.



Figura 34. Comparación tamaño tarjeta RFID

Investigando aún más, surgió un problema: el precio de las tarjetas era desorbitado. La razón: para que saliera rentable, había que comprar alrededor de 200 tarjetas. Si hubiésemos comprado 40, por ejemplo, el precio de cada tarjeta hubiese sido de 2,5 €, es decir, nos hubiese supuesto un gasto de 100 €. Únicamente se compraron 10 tarjetas a un proveedor chino por internet, el precio resultó ser barato, 5 € por 10 tarjetas, apenas había información técnica sobre la tarjetas pero al ver esta oportunidad se compraron para ver si respondía nuestro sistema. Lo que suponía un ahorro económico en el proyecto iba a suponer un gasto temporal, como se verá, para deducir la comunicación que se establece, pero era asumible.

Para evitar mayores desembolsos, y asegurar que las tarjetas cumplían las especificaciones, se contactó directamente con los siguientes proveedores españoles.

- Enzocard.
- AlgaRFID.

- Osesrfid.
- Forquimsa.

Al final, tras correos y llamadas, se consiguieron varias muestras gratuitas. 10 tarjetas de Enzocard y otras 10 de AlgaRFID. En total se ha dispuesto de 30 tarjetas RFID. Suficiente para cubrir la necesidad de este cuento, ya que se necesitan 4 piezas interactivas de al menos 4 modelos diferentes, es decir, 16 tarjetas RFID. Esta necesidad era así por la lección que tenían en mente los pedagogos, querían hacer una lección que tuviese 4 posibles opciones en cada interrupción.

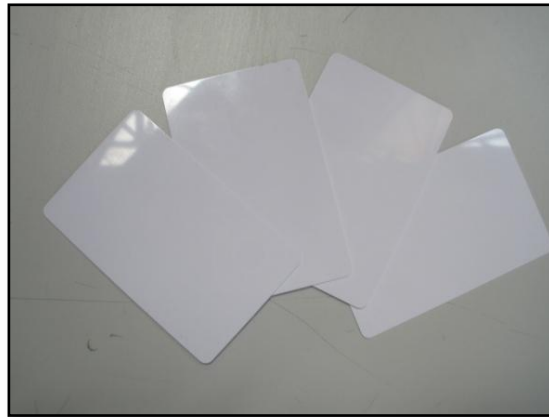


Figura 35. Tarjeta RFID

Cabe destacar que una vez obtenidas las 30 tarjetas, se fue comprobando el funcionamiento de cada una con el sistema lector. Las pruebas se realizaron en tres tandas, primero se probaron las tarjetas del proveedor chino, a continuación las tarjetas de la empresa Enzocard y posteriormente las tarjetas de AlgaRFID. La prueba fue sencilla, ir acercando diferentes tarjetas de cada una de las tandas a la antena, y ver si se producía alguna variación en la onda que salía de la antena.

El resultado corresponde a la **tabla 2**, fue el siguiente:

Proveedor	Frecuencia func.125 kHz	Variación en Amplitud	Distancia funcionamiento
Proveedor Chino	SÍ	SÍ	limitada
Enzocard	--	NO	--
AlgaRFID	SÍ	SÍ	limitada

Tabla 2. Resultado de las tarjeta RFID

Como se puede observar, finalmente solo utilizamos 20 tarjetas RFID, ya que las 10 tarjetas de Enzocard no emitían señal alguna. Tras investigar la causa, se supo por la empresa que habían mandado las tarjetas sin estar codificadas, por eso no se producía ninguna variación al acercar la

tarjeta a la antena. La programación era factible mediante un programador que podría construirse, pero quedaba fuera del ámbito de este trabajo.

No obstante, con las 20 restantes seguimos cumpliendo la necesidad de 16 tarjetas, por lo tanto utilizamos tanto las tarjetas del proveedor chino como las de la empresa AlgaRFID. Por último, mencionar que la distancia de funcionamiento de las tarjetas es limitada, de hecho, solo funciona cuando se posa la tarjeta directamente sobre la antena.

2.3.2 Circuito 1.

Tanto para este circuito, como para el resto de circuitos se ha utilizado el mismo procedimiento de construcción. A modo de resumen se explica el procedimiento a seguir:

- Implementación del diseño teórico en una placa protoboard.
- Creación del lay-out de la versión definitiva.
- Construcción de una PCB.
- Taladro de la PCB y soldadura de cada elemento.
- Prueba final.
- Fijación a la base mediante elementos de sujeción.

Antes de comenzar a describir el circuito 1, cabe decir que para fijar las distintas PCBs, tanto del circuito 1 como del resto de los circuitos, se han creado unos prismas con una ranura especial, para que cada una de estas placas quedase fijada y suspendida unos centímetros del suelo. Estas piezas, ver **figura 36**, se han diseñado siguiendo el mismo procedimiento que las piezas interactivas descritas en la memoria del Trabajo Fin de Grado de Gonzalo Guzmán Martín, [1]. Primero se han diseñado en OpenSCAD y a continuación se han impreso con la impresora 3D Sistemas y Automática.



Figura 36. Pieza de sujeción PCB

El circuito 1 es el encargado de generar y adecuar una onda cuadrada de 125 kHz. Concretamente tiene los siguientes subcircuitos o etapas:

- Oscilador de relajación.
- Comparador, divisor y buffer.
- Sumador inversor.

	Diseño inicial	Diseño final
R1	3,6 k Ω	2,3 k Ω
R2	3,6 k Ω	4,7 k Ω
R3	6,5 k Ω	7,6 k Ω

Tabla 3. Valores inicales VS finales

Con estos valores, el resultado a la salida del oscilador de relajación corresponde con la **figura 39**, el resultado es el esperado: 125kHz.

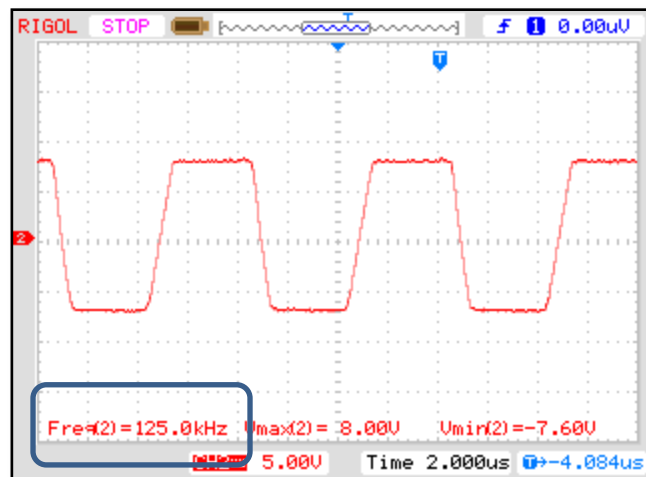


Figura 39. Resultado diseño final oscilador de relajación

Por último, durante la construcción de este circuito se detectó un error al conectarlo con el circuito 2, ya que al hacerlo la señal se distorsionaba al acoplarse impedancias. Debido a la importancia de tener una señal limpia y libre de ruido, se añadió un buffer a la salida del circuito 1. Finalmente el circuito 1 queda como representa la **figura 40**.

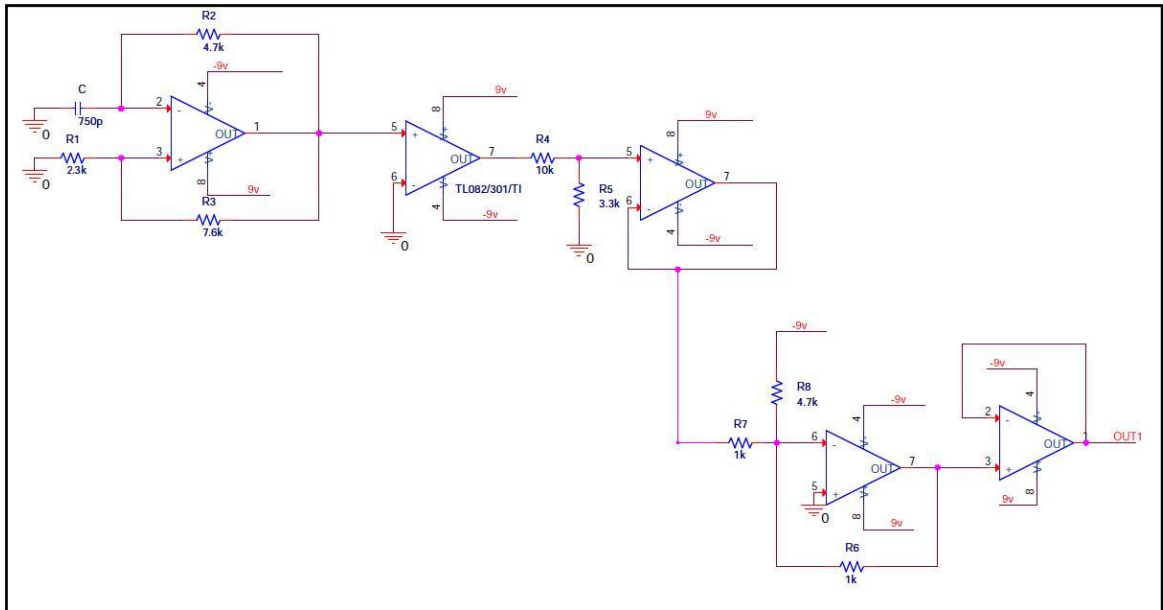


Figura 40. Circuito 1: diseño final

Cuando se tuvo la certeza del correcto funcionamiento de este circuito se diseñó el lay-out para fabricar la PCB. Las razones por las que se ha fabricado el circuito en una PCB son evitar capacidades parásitas, realizar un diseño claro y fiable por su reproducibilidad, ahorrar espacio y gana en robustez electrónica. Como nota aclaratoria, debido a la complejidad de este circuito y la necesidad de amortizar espacio este circuito se realizó en dos capas, top y bottom. En la **figura 41** se muestra el lay-out del circuito 1.

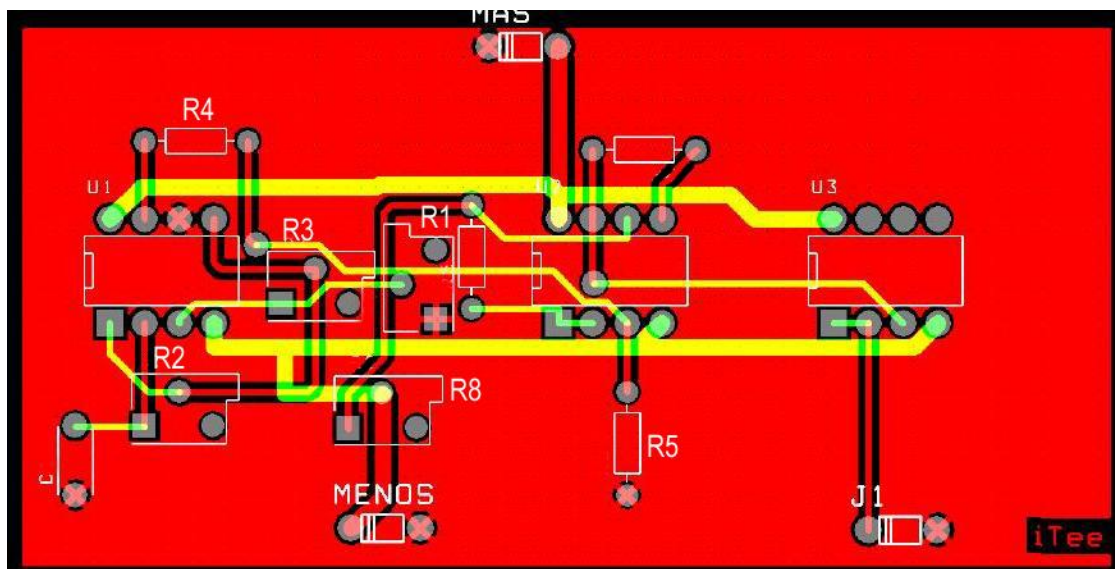


Figura 41. Circuito 1: Lay-out

Para la fabricación de la PCB, se ha enviado el lay-out de la misma a los técnicos del laboratorio del departamento y en unos días ya la teníamos. Lo único que había que hacer por nuestra parte era taladrar los agujeros. Con la PCB taladrada se colocaba cada elemento y se soldaba en la PCB.

Una vez soldados todos los elementos se procedió a hacer una prueba final. Antes de alimentar la placa y comprobar el resultado, se revisaban cada una de las conexiones midiendo la continuidad, así se aseguraba que no había ningún punto sin alimentar o algún conexión errónea. El aspecto final del circuito 1 es la **figura 42**.



Figura 42. Circuito 1

Nótese en la figura los elementos de sujeción descritos al comienzo del apartado “2.3.2 Circuito 1”, gracias a ellos el circuito queda fijado a la base y elevado unos 10 mm del suelo. Asimismo, se marcan los diversos componentes con los nombres que recibían en el esquemático de la **figura 40**.

2.3.3 Circuito 2.

Este circuito es el encargado de convertir la onda cuadrada en senoidal, adecuarla para alimentar las tarjetas RFID y leer la información codificada en ellas. Etapas correspondientes de este circuito son:

- Filtro paso bajo.
- Amplificador no inversor.
- Antena.

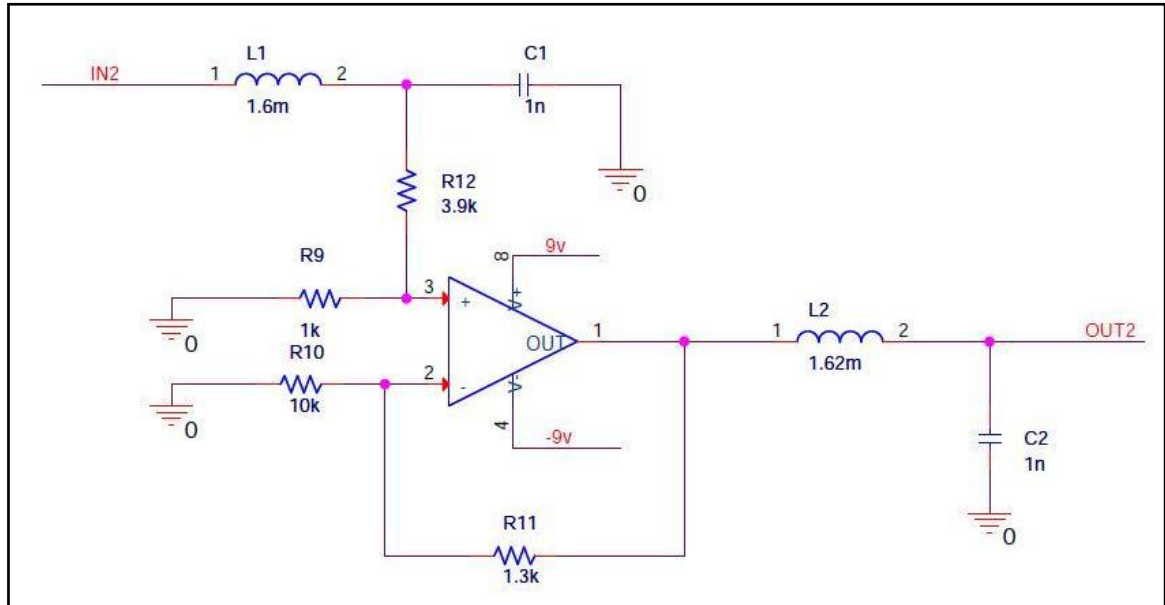


Figura 43. Circuito 2: diseño teórico

A diferencia del resto de circuitos, este contiene un elemento que se ha tenido que fabricar desde cero: la antena. Para fabricar la antena partimos del valor de la inductancia (especificación de diseño en [1]):

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \rightarrow L = \frac{1}{C \cdot 4 \cdot (\pi \cdot f)^2} = 1,62 \text{ mH}$$

Partiendo del valor de la inductancia necesaria, se calculó el número de vueltas que tenía que tener la antena. La base teórica es la fórmula de Wheeler, que se muestra a continuación:

$$L = 0,394 \cdot \frac{a^2 \cdot N^2}{9 \cdot a + 10 \cdot l} \rightarrow \mu H$$

Dónde N es el número de vueltas, a y l corresponden a las dimensiones de la bobina y están en cm. L , el valor de la inductancia, viene dado en microHenrios. El núcleo considerado es el aire.

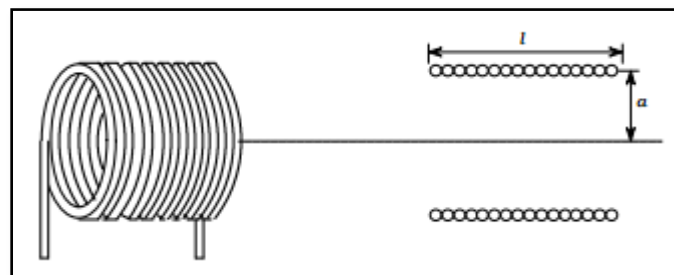


Figura 44. Diseño de inductancias, Wheeler

Se tuvo que fijar el tamaño de la bobina para poder despejar la fórmula y conseguir N . Por motivos de espacio en la caja prediseñada fijamos $a = 3,5 \text{ cm}$ y $l = 2,5 \text{ cm}$.

Resolviendo la ecuación llegamos a la conclusión de que eran necesarias 138 vueltas. Por cada vuelta se necesita una longitud, en centímetros, de $2 \cdot \pi \cdot a$, es decir, 22 cm. Luego necesitábamos 30.4 metros de cobre. El cobre utilizado procedía de un antiguo transformador.

Para evitar sobrepasar o no llegar al valor de inductancia correspondiente, la primera prueba realizada fue con 45 metros de cobre. Mediante el método experimental, ensayo-error, conseguimos alcanzar el valor de inductancia adecuado.

Para llevar a la práctica este método, se construyó un utensilio para poder enrollar el cobre y que este no perdiera las características de diseño, básicamente los 7 cm de diámetro. Este utensilio se puede ver en la **figura 45**, como se puede comprobar se colocaron 4 tacos de madera sobre un tabla, los tacos de madera servían de guía para enrollar el cobre ya que estaban situado a 7 cm de distancia entre sí. Además la altura de estos tacos era de 2,5 cm luego la distribución de este utensilio era perfecta para seguir como guía y así conseguir una antena que cumpliese las características del diseño.

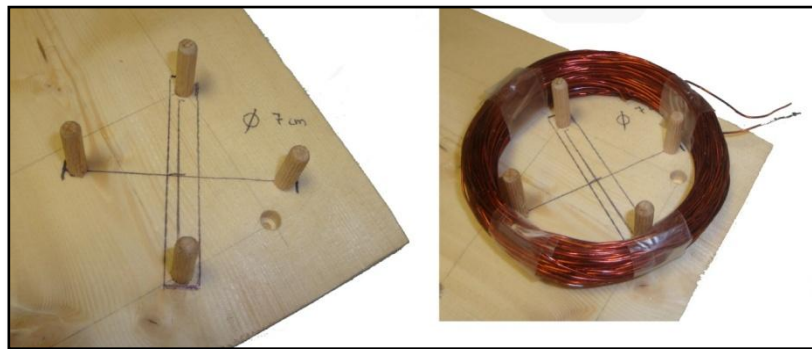


Figura 45. Enrolla antena

Con los 45 m de cobre enrollados, se precedió a medir la inductancia, como se mostrará más adelante el valor no resultó ser el adecuado, como era de esperar, por lo tanto el procedimiento que se seguía era desenrollar de nuevo cobre pero controlando la longitud que se quitaba y se volvía a medir. La inductancia se ha medido con un Polímetro 37RA, descrito en apartado “1.4 Medios empleados” de esta memoria. El resultado del método experimental se puede ver en la **tabla 4** que se muestra a continuación:

Metros de cobre (m)	Inductancia de la Antena (mH)
45	2,55
43	2,25
41	2,01
38	1,80
37	1,69
36	1,67
35	1,66
34	1,64
33	1,62

Tabla 4. Medidas de Inductancia de la antena

Observando la **tabla 4**, se puede ver que la opción de usar 33 metros es la que más se aproxima al valor necesario de inductancia. Además podemos decir que la diferencia entre el valor teórico y el experimental es pequeña: 30,4 metros y 33 metros respectivamente. Esta diferencia se debe a la forma de la antena, es decir, no es un toroide perfecto ya que hay zonas en las que el hilo de cobre está más pegado a sus vecinos que en otras. Al tener zonas donde el hilo de cobre tiene más presión supone mayor intensidad de campo magnético que en el resto, al no tener la antena una superficie constante nos encontramos con esta diferencia en el valor de la inductancia entre el valor real y el previamente diseñado.

El resultado final de la antena se puede ver en la **figura 46**.



Figura 46. Antena

Con la antena ya construida, se procedió a realizar una primera prueba en una placa protoboard. En este montaje se produjeron problemas de acoplamiento de impedancias, en concreto, con la antena. Para evitarlo se colocaron dos buffer, uno antes de la antena y otro después. Para poder apreciar el efecto de los buffer la **figura 47** muestra una medida realizada justo antes de la antena sin el buffer de desacoplo y con él. Como se puede comprobar la señal perdía prácticamente su nivel de tensión por lo que la utilidad de los buffer está justificada.

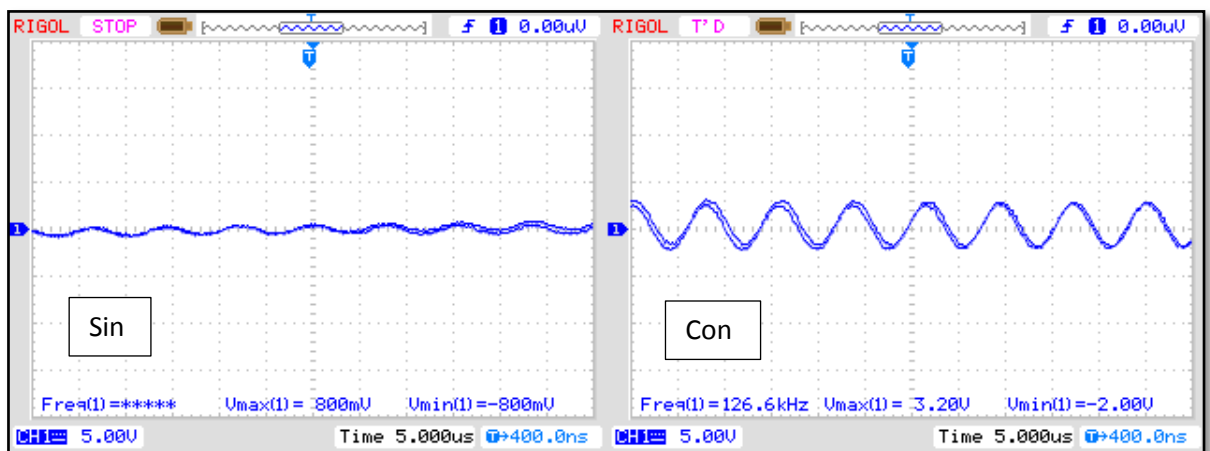


Figura 47. Sin VS con buffer

Finalmente el esquemático del circuito 2 corresponde a la **figura 48**:

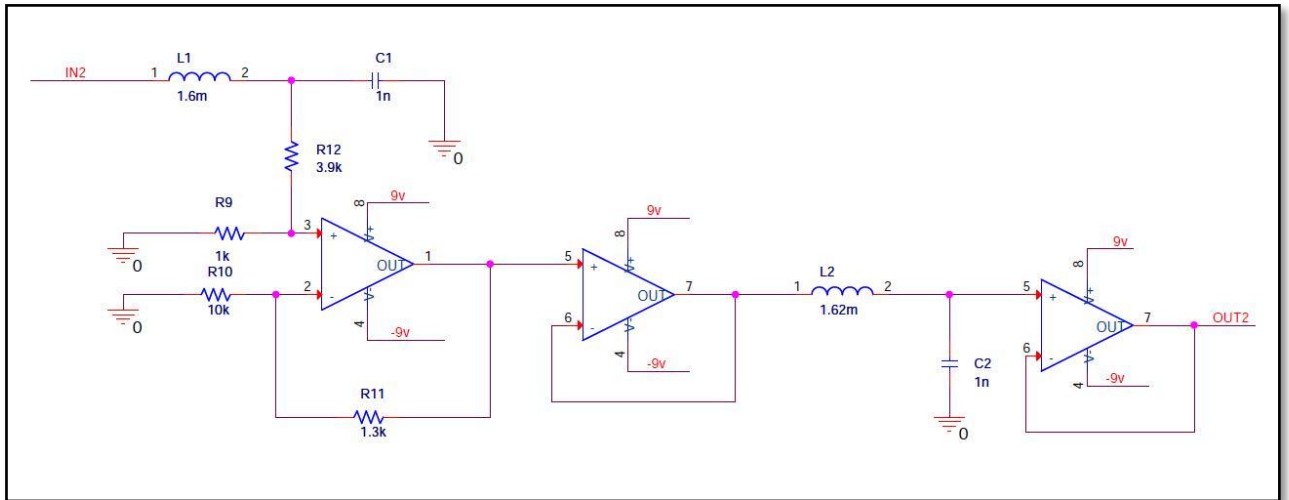


Figura 48. Circuito 2: diseño final

Siguiendo el mismo procedimiento, una vez que funcionó el circuito 2 en la placa protoboard se hizo el lay-out del circuito 2.

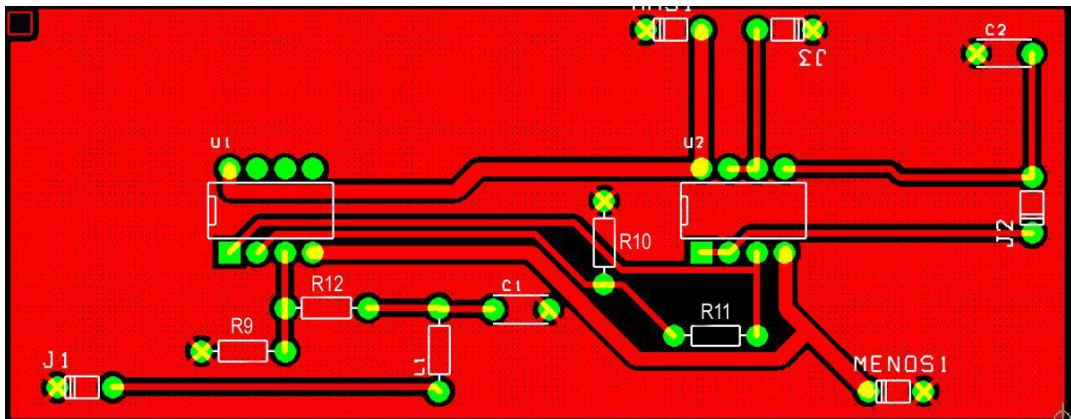


Figura 49. Circuito 2: lay-out

Aunque en la **figura 48** del diseño electrónico aparezca la antena como un pequeño elemento entre los dos buffer, la antena queda fuera de la PCB. Se ha colocado una clema en el lugar correspondiente, y mediante dos cables (uno en cada extremo) se conecta al circuito. Esta forma de colocar la antena permite una mayor flexibilidad para colocarla en un lugar u otro de la base de la caja. En la **figura 50** se puede ver como ha quedado el circuito 2. Además, en la **figura 51** se puede observar cada uno de los elementos que conforman este circuito.

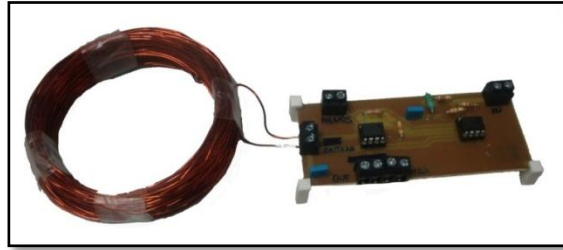


Figura 50. Circuito 2 con antena

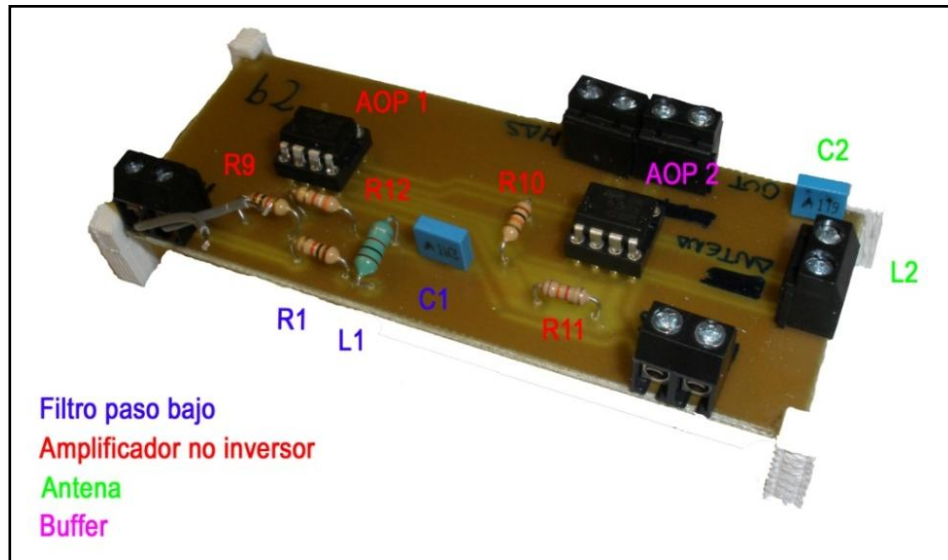


Figura 51. Circuito 2

2.3.4 Circuito 3.

Encargado de gestionar y procesar la información de la antena de tal forma que el microprocesador sea capaz de procesarla. Para ello se han utilizado las siguientes etapas:

- Detector de envoltente
- Restador inversor
- Amplificador no inversor
- Comparador y divisor

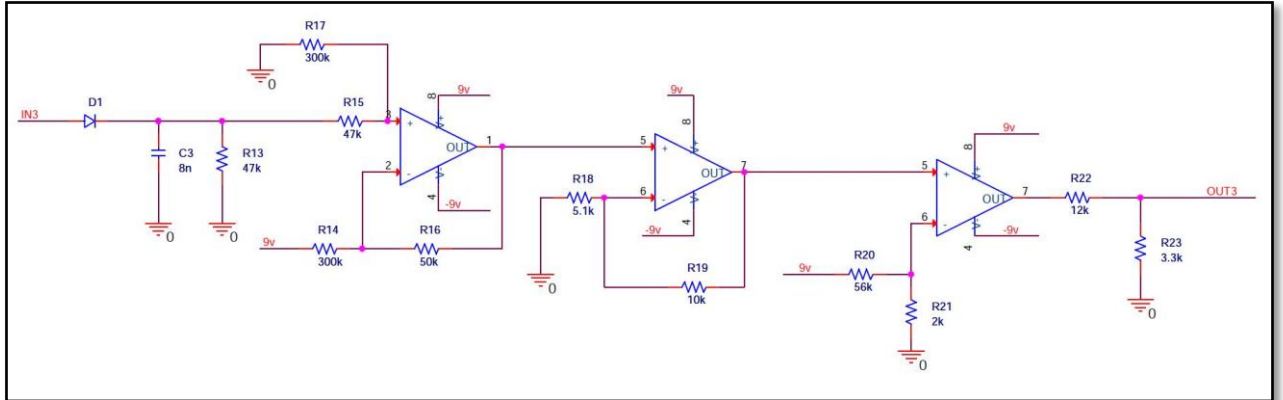


Figura 52. Circuito 3: diseño teórico

Al implementar y comprobar el diseño en la placa protoboard surgió el mismo problema de acoplamiento que en los circuitos anteriores. Esta vez justo delante de la etapa del comparador y el inversor. Por lo tanto se procedió a colocar un buffer entre el amplificador no inversor y el comparador, quedando el esquema del circuito como representa la **figura 53**:

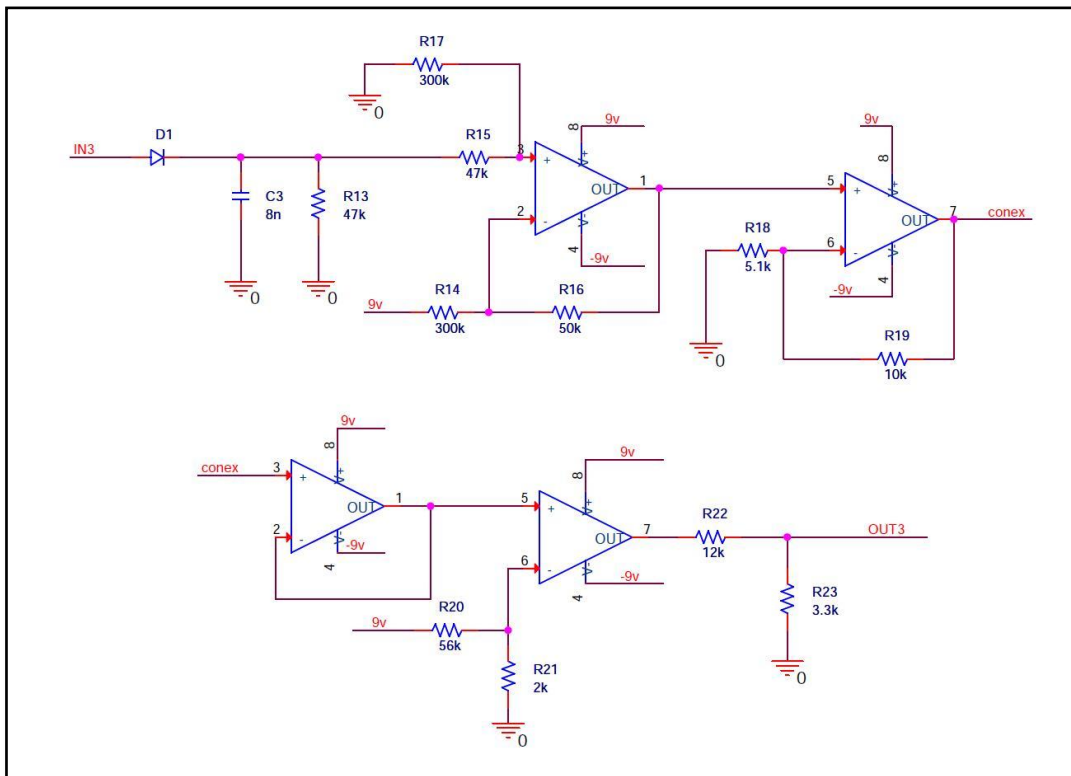


Figura 53. Circuito 3: diseño final

El lay-out del circuito 3 se encuentra en la **figura 54**:

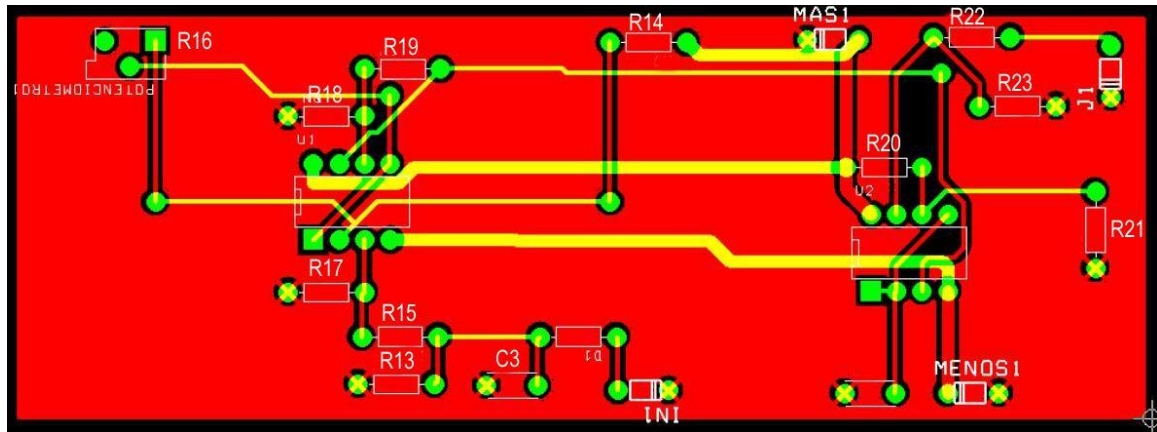


Figura 54. Circuito 3: lay-out

El resultado final del circuito 3, tras haber procedido de la misma manera que en los casos anteriores, corresponde a la **figura 55**.

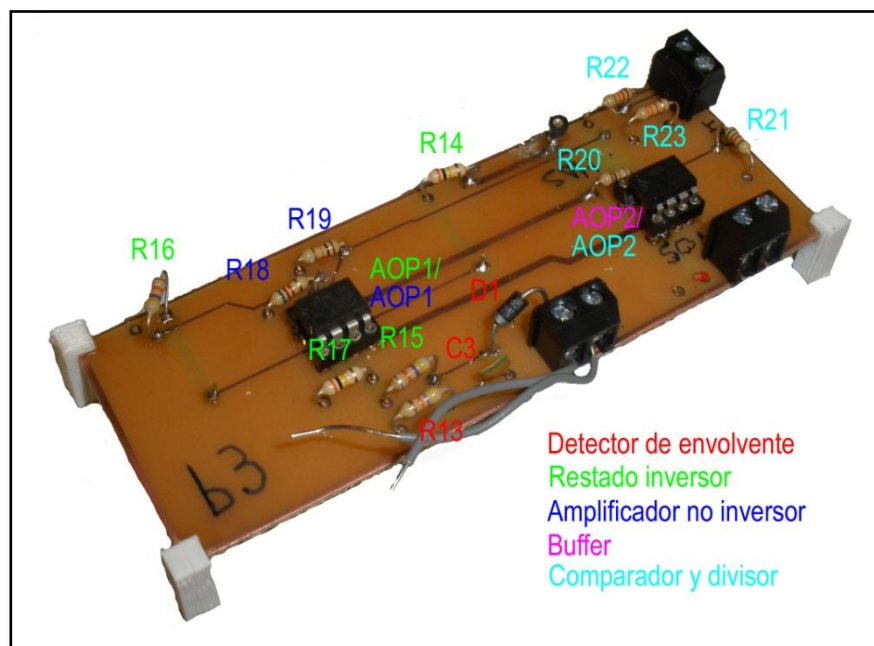


Figura 55. Circuito 3

2.3.5 Circuito 4.

Este circuito limita los valores de tensión de la salida del circuito 3 en $\pm 3,3$ V. Recordemos que la salida del circuito 3 es la que debe procesar el microcontrolador, luego si entrase un valor superior se podría dañar el micro, hasta el punto de romperse. Por este motivo fue necesario crear un circuito adicional, ya que este circuito ha sido una mejora que no se encontraba en el diseño inicial.

El circuito contiene un amplificador operacional, el LM324, utilizado para comparar la señal de entrada. Esta vez se ha elegido este amplificador porque permite hacer una comparación con 3,3 V y tierra, por lo tanto a la salida de la comparación se obtendrá una señal cuadrada que oscilará entre 3,3 V y 0 V.

Aprovechando la ocasión, también se ha utilizado este circuito para colocar en la salida de cada pin del microcontrolador una resistencia antes de los diodos de iluminación, para limitar la corriente en operación de los LEDs y polarizarlos adecuadamente. El valor de la resistencia se ha elegido partiendo de ecuación teórica que se muestra a continuación:

$$R = \frac{V_{alimentación} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

La $V_{alimentación}$, es la tensión que sale del pin del microcontrolador, 3,3 V. V_{LED} varía entre 1,7 y 3,3 V, pero se aproximará a un valor intermedio: 2,5 V. La corriente que circula por el led, I_{LED} , es de 20 mA. Se calcula el resultado:

$$R = \frac{3,3 - 2,5}{0,02} = 40 \Omega$$

La resistencia utilizada tiene un valor es de 39 Ω . Se acerca al valor teórico calculado. En este circuito también se han tenido en cuenta las conexiones para colocar el botón de RESET del micro, es decir, para que el micro vuelva al estado inicial.

El esquema del circuito corresponde a la figura siguiente:

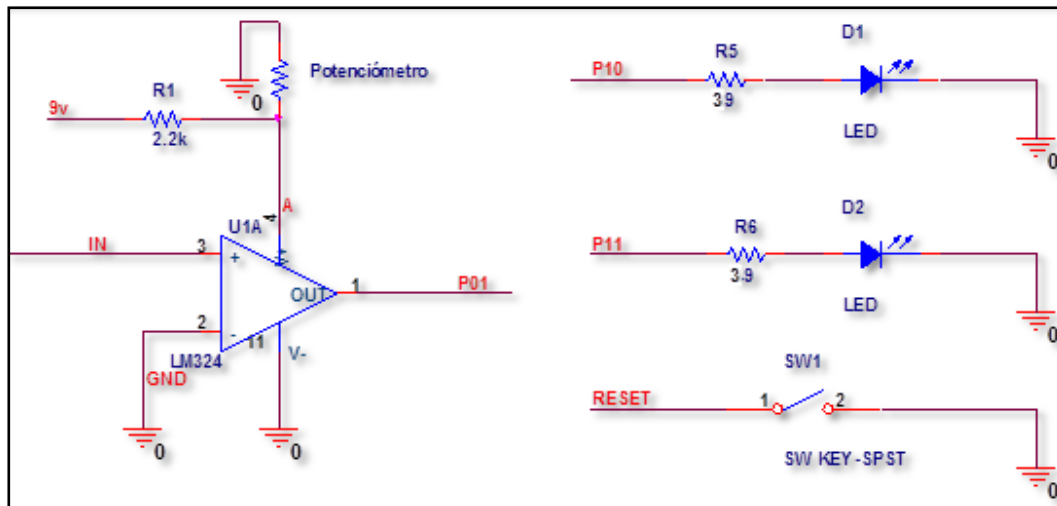


Figura 56 . Circuito 4

El lay-out de este circuito corresponde con la **figura 57**.



Resistencias de los diodos
 Divisor para la alimentación LM324
 Divisor alimentación micro
 (No utilizado)

2.3.6 Programación del microcontrolador.

49

No se conoce de partida la información codificada en las tarjetas de muestra recibidas. Por la tanto, la mejor forma de empezar es analizando la señal que suministra el circuito 4. Esta señal corresponde a la **figura 59**. La señal está codificada, los niveles altos son “1” lógicos y los niveles bajos son “0” lógicos. El periodo de cada dígito es de 256 μ s, llegamos a la conclusión de este dato midiendo cada dígito directamente del osciloscopio, ver detalle de la **figura 59**. Si tenemos en cuenta el periodo de cada dígito, podemos decir que la captura corresponde a la codificación: 00 10 10 10 11 01 01 01 01 01 01.

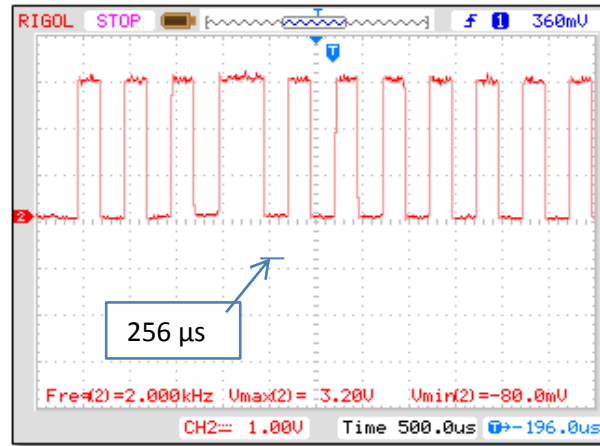


Figura 59. Señal recibida por el microcontrolador

Partiendo de las especificaciones de diseño, las tarjetas están codificadas como corresponde a la **figura 60**: se puede observar que la información tiene una cabecera de 9 bits a efectos de sincronización y después continúa la codificación.

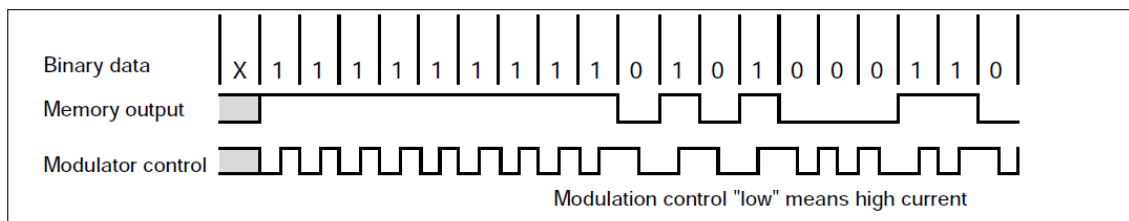


Figura 60. Codificación de las tarjetas RFID

La primera idea de implementación fue utilizar un timer, que midiese si había nivel alto o bajo justo después de la detección del primer flanco de bajada. El primer flanco de bajada aparece tras la consecución de la cabecera de 9 primeros dígitos. Una vez detectado este flanco, el timer haría una primera medición de $256 + \frac{256}{2} \mu s$ para fijar la medición y a continuación mediría cada 256 μs . Esta medida se iría guardando en un array hasta volver a leer nueve “1” seguidos, lo que significaría que ya se ha transmitido la información completa, luego se guardaría en una variable y ya sabríamos qué pieza se ha utilizado. A modo de resumen la **figura 61**:

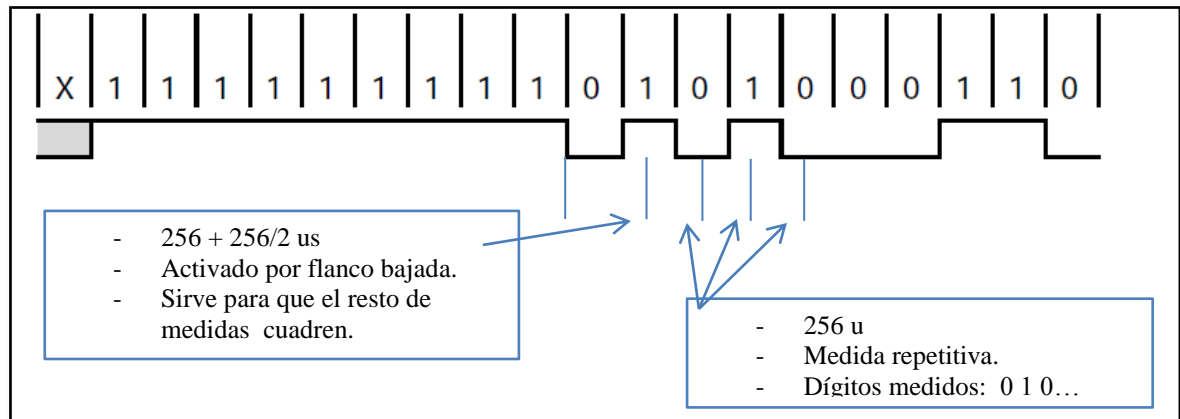


Figura 61. Información de la codificación.

Este método inicial resultó difícil de implementar. Eran necesarios arrays de gran tamaño que consumían recursos de memoria del micro y ralentizaban la respuesta.

Finalmente el método implementado resultó ser mucho más sencillo. Simplemente se cuentan los flancos de bajada que se producían durante un segundo y se almacenan en una variable. El número de flancos que se producía siempre oscilaba entre la misma pareja de valores. En la **tabla 5** se aprecia un ejemplo en el que se cuentan los flancos que se producen al acercar la tarjeta 1, como se puede ver, los valores oscilan entre 1561 y 1564.

Mediciones – Tarjeta 1
1564
1563
1564
1563
1563
1562
1563
1561
1562

Tabla 5 . Mediciones Tarjeta 1

Para asegurarse que siempre se midiera correctamente se fijaron los valores entre 1560 y 1565, así cada vez que se acercaba una tarjeta codificada de esta manera sería reconocida como pieza 1. El resto de tarjetas se procedía de la misma manera, dependiendo entre qué valores se encontraba, era una tarjeta u otra. Las medidas realizadas de cada tarjeta y lo rangos utilizados se muestran en la **tabla 6**.

	Mediciones tarjeta 1	Mediciones tarjeta 2	Mediciones tarjeta 3	Mediciones tarjeta 4
	1564	1533	1591	1624
	1563	1532	1594	1622
	1564	1529	1592	1624
	1563	1532	1591	1623
	1563	1534	1593	1624
	1562	1530	1593	1622
	1563	1533	1592	1621
	1561	1532	1592	1622
	1562	1534	1594	1622
Rango final	1560/1565	1520/1535	1580/1595	1610/1625

Tabla 6. Mediciones tarjetas RFID

Este método suponía un ahorro computacional para el micro, o lo que es lo mismo, el microcontrolador trabajaría de manera más eficaz y holgada. Se implementó y el resultado fue satisfactorio, ya que pudimos diferenciar entre las 4 tarjetas.

El diagrama de flujo del programa está dividido en tres partes: la función main, la interrupción1 y la interrupción del timer0. Antes se muestra un breve resumen del comportamiento del programa:

Comienza inicializando el timer y todos los contadores. Cada vez que se produce una interrupción1, o lo que es lo mismo, se produce un flanco de bajada, el contador de flancos, *fla*, aumenta su valor.

Paralelamente, el microcontrolador cuenta hasta llegar a 1 segundo. Cada vez que llega a 1 segundo comprueba el resultado de *fla*. Si *fla* está comprendido entre un valor adecuado, el contador se incrementa 1. En cuanto el contador se incrementa hasta 3 veces, significa que la pieza ha sido identificada adecuadamente y por lo tanto manda una señal al LED de pieza acertada.

La elección de contar hasta 3 veces surge del equilibrio entre seguridad de haber identificado la pieza correcta y por otro lado evitar que LED de pieza acertada tarde mucho en encenderse, es decir, si se aumentase el valor del contador podríamos asegurarnos aun más que la pieza que leemos es la correcta pero tardaría más en encender el LED de pieza acertada. Por lo tanto, se ha decido contar hasta 3, ya que es un valor óptimo para conseguir que el LED luzca en un tiempo adecuado pero con la seguridad suficiente como para saber que la lectura de la pieza es correcta, el tiempo que tarda el LED en encenderse desde que la pieza queda reposada en la caja es 3 segundos.

- **Función main. Figura 62.** Detecta cada una de las piezas y hace continuar el programa dependiendo de si la pieza es la correcta o no.



Figura 62. Diagrama de flujo Función main

- **Interrupción1. Figura 63.** Se activa cada vez que se detecta un flanco de bajada.

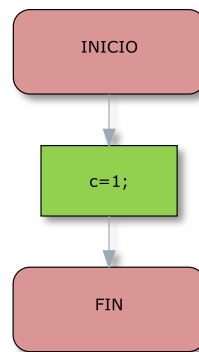


Figura 63. Diagrama de flujo Interrupción1

- **Interrupción Timer0. Figura 64.** Usado como reloj del programa, este reloj está tomado del oscilador interno del micro.

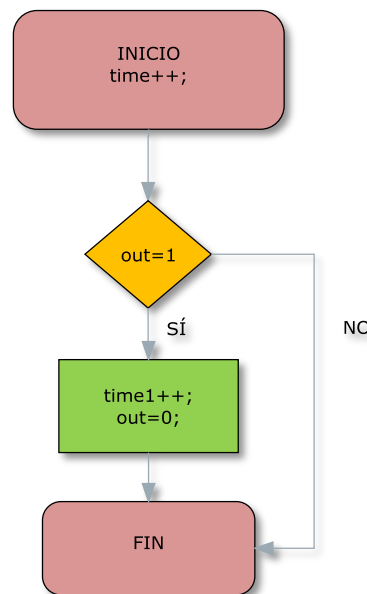


Figura 64. Diagrama de flujo Interrupción timer0

Los pines utilizados para interconexionar el circuito 4 y el micro se recogen esta tabla:

Nombre del Pin	Función
P0_3	Entrada de la salida del circuito 4
P1_0	Encendido LED de funcionamiento
P1_1	Encendido LED de pieza acertada
RESET	Reset
GND	Tierra

Tabla 7. Pines de conexión del microprocesador

2.3.7 Consumo del sistema.

Una vez montado el circuito y funcionando se procedió a medir la corriente que consumía, tanto en el punto máximo de operación (cuando se detectaba una pieza) como cuando no se acercaba ninguna pieza interactiva al lector. La corriente que se midió durante la operación del circuito es de 50 mA.

El diseño electrónico necesita ± 9 V para funcionar, así que en principio, la potencia que consume el lector no superará los 450 mW, lo que supone un bajo consumo. El objetivo principal es encontrar una fuente capaz de suministrar al lector, a la vez, ± 9 V.

Se rastreó en RS una fuente que cumpliera con los requisitos, encontrando:

- RT – 125 W Triple Output. Modelo 413 – 651.

Opción A. Nos permite alimentar el circuito a la tensión que necesitamos, gracias a un regulador, que permite transformar los ± 12 V que genera en los ± 9 V necesarios. El precio es de 95.24 €.

La opción A cumple con las condiciones técnicas pero el precio era elevado. Seguimos buscando fuentes en RS, encontramos una fuente capaz de generar 12 V pero con un regulador:

- RS – 25 W Single Output. Modelo 25 – 12.

Opción B. Capaz de convertir los 12 V en 9 V gracias al regulador. Precio 34.23 €.



Figura 65. Fuente alimentación, opción A



Figura 66. Fuente alimentación, opción B

Por otro lado, la opción B tiene un inconveniente: solo permite alimentar con 9 V o en su defecto, con -9 V . Aquí teníamos un problema, porque los TL082 funcionan con una alimentación de $\pm 9\text{ V}$. Había dos soluciones: comprar la fuente 413 – 651 (opción A) o comprar 2 fuentes 25 – 12 (opción B).

Para decidirnos tuvimos que tener en cuenta tres aspectos: espacio, peso y precio. Por espacio no había problema, ya que cabían de sobra las 2 fuentes 25 – 12 en la base del lector. Respecto al peso, no había inconveniente, ya que el lector en todo momento estará sobre una mesa especial para los alumnos y debería no moverse mucho en operación. Por último analizando gastos:

Opción A:

Fuente 413 – 651 \rightarrow $\text{precio total} = 95.24\text{ €}$

Opción B:

2 fuentes 25 – 12 \rightarrow $\text{precio total} = 2 \cdot 34.23 = 68.46\text{ €}$

La solución 2 supone un ahorro de 26.78 €. Como el precio es el factor decisivo nos decidimos por utilizar dos fuentes 25 – 12, **figura 67**.



Figura 67. Fuente de alimentación

Para que funcione el lector, este tiene que estar conectado a algún enchufe, concretamente es la fuente de alimentación la que transforma la tensión de 230 V de la red en el valor adecuado a nuestro circuito. Para evitar que el lector siempre estuviese consumiendo si el cable está enchufado, se colocó un interruptor para evitar despistes, y así asegurarnos que si se deja enchufado por lo menos se puede apagar el lector y este no consumirá energía alguna. Se utilizó un interruptor simple, comúnmente conocido como interruptor de pera, **figura 68**. Como ya se explico en el capítulo 2: “2.1 Construcción de la caja del lector” el interruptor irá colocado en una de las paredes laterales, ver **figura 14**.



Figura 68. Interruptor de pera

Cuando se procedió a montar la fuente de alimentación surgió un problema: el mínimo valor de tensión que suministraba era de 10 V. Para suministrar los 9 V correspondientes se utilizaron dos reguladores de tensión: 7809 y 7909. El regulador 7809 para suministrar + 9 V y el 7909 para suministrar los – 9 V. El circuito de adaptación que se ha utilizado se ha sacado de cada uno de los datasheet. En la **figura 69** se puede ver el circuito de adaptación del 7809 y en la **figura 70** el del 7909.

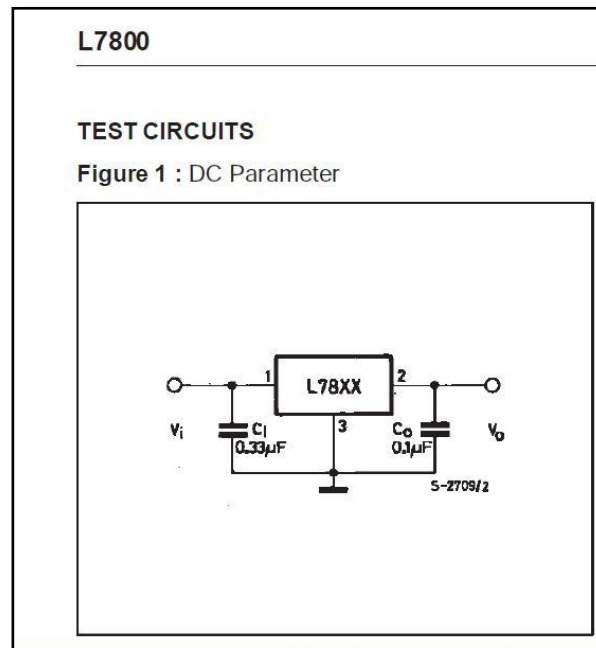


Figura 69. Circuito de adaptación para el 7809

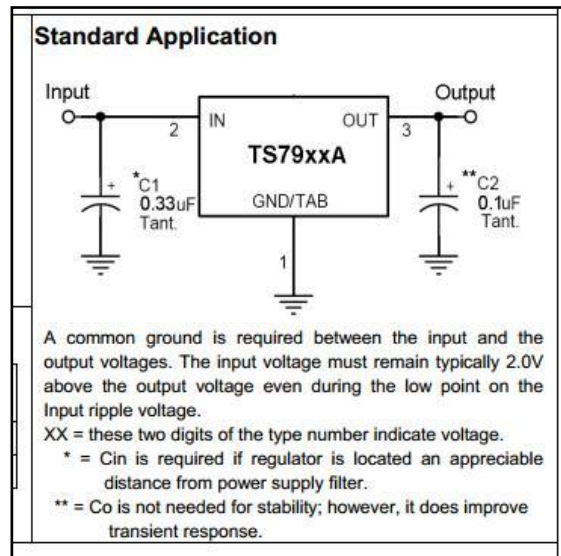


Figura 70. Circuito de adaptación para el 7909

Además se han integrado unos fusibles detrás de las fuentes para aportar seguridad ante un hipotético fallo del sistema. En caso de que se supere la corriente normal de funcionamiento, ya sea por un cortocircuito o un exceso de carga, el fusible actuará y evitará valores peligrosos de corriente. Los fusibles que se han utilizado son de 100 mA.

En la **figura 71** se puede ver el circuito de adaptación de los reguladores y los fusibles anteriormente nombrados.

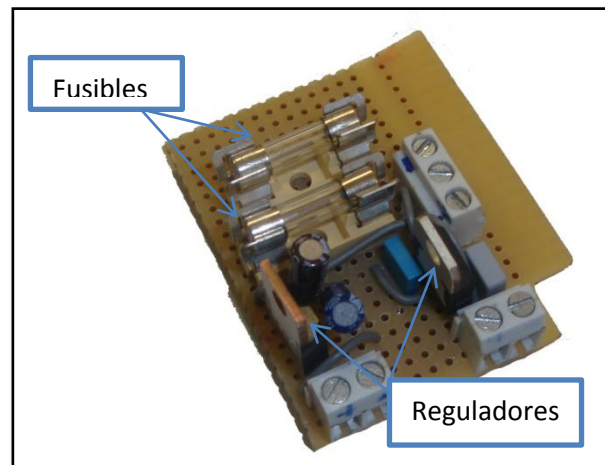


Figura 71. Circuito de adaptación

Capítulo 3. Resultado de Operación

En este capítulo se explican los resultados finales. Una primera parte hace referencia al resultado electrónico, es decir, se expondrán las mediciones de las señales realizadas por osciloscopio, estas han sido tomadas en cada uno de los puntos de interés del circuito final.

Por otro lado, la segunda parte se centra más en el resultado respecto a la transmisión de información. Se utilizarán capturas del ToolStick Terminal, para comprobar las acciones del micro.

Finalmente, la tercera parte será una demostración más visual, digamos que es la parte que se han encontrado los alumnos del colegio al usar el sistema.

3.1 Resultado Electrónico

Mediante capturas del osciloscopio se expondrá el resultado obtenido de cada uno de los circuitos que se han implementado. Antes de mostrar las capturas, se pondrá una foto del esquemático de cada circuito y se indicará donde se ha realizado cada una de las medidas.

Medidas realizadas en el circuito 1.

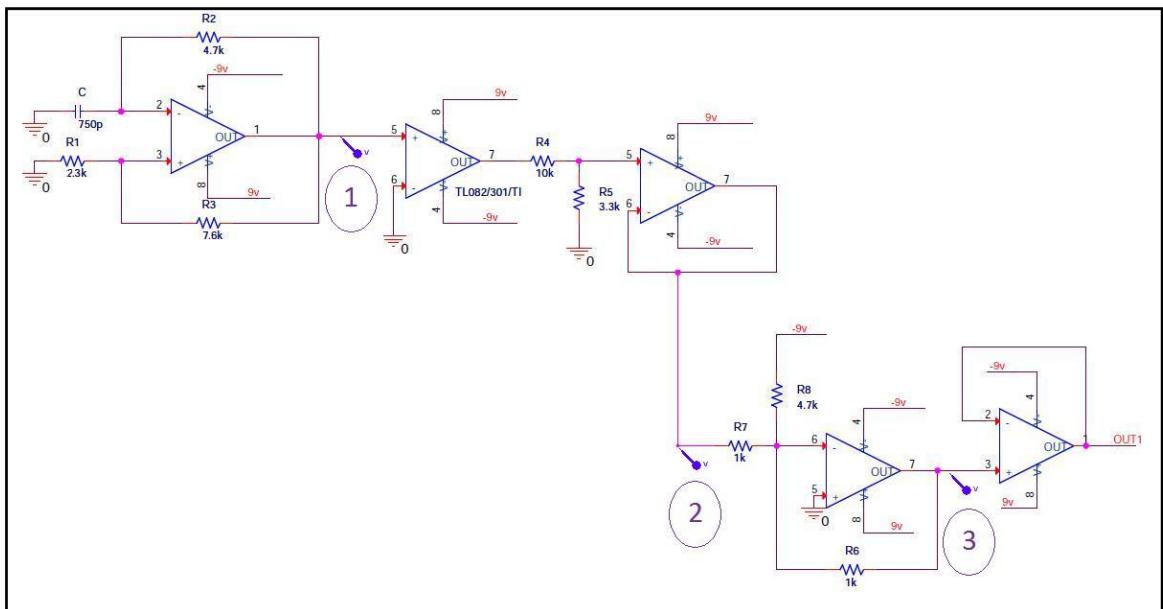


Figura 72. Circuito 1: medidas realizadas

- Medida 1. **Figura 73.** Medición realizada a la salida del oscilador. Crea una señal cuadrada cuya frecuencia es de 125 kHz.

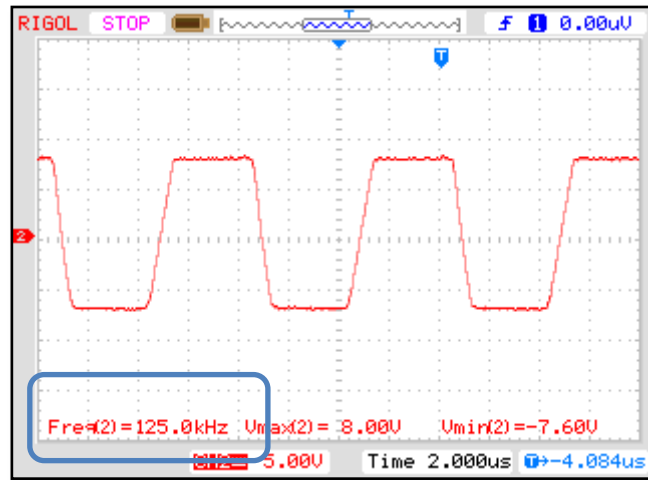


Figura 73. Medida 1

- Medida 2. **Figura 74.** Medición realizada a la salida del primer buffer. Desde la medida 1 a la medida 2 la señal se compara con tierra, se limpia la señal, y a continuación se limita a un valor de tensión de ± 2 V.

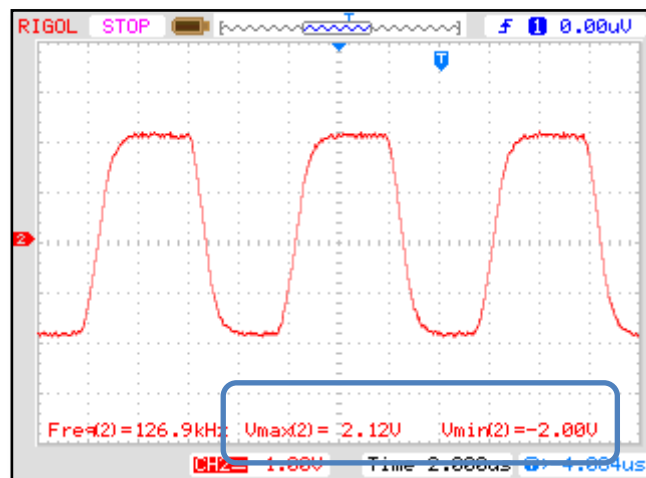


Figura 74. Medida 2

- Medida 3. **Figura 75.** Medición a la salida del sumador inversor. Con este sumador inversor sumamos a la señal anterior un valor de tensión para convertir esta nueva señal en una señal sin parte negativa.

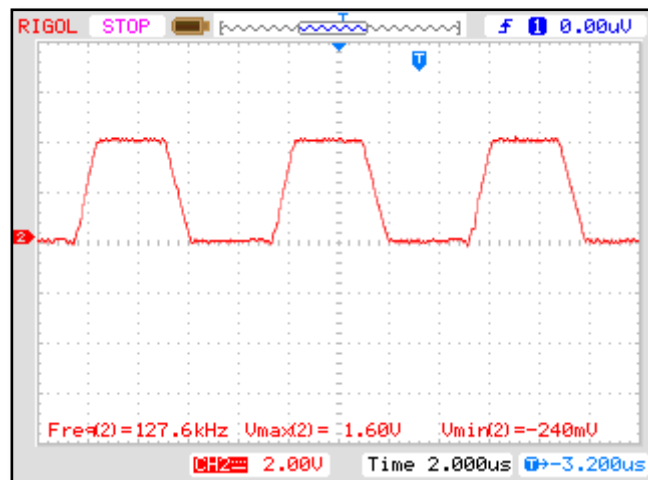


Figura 75. Medida 3

Medidas realizadas en el circuito 2.

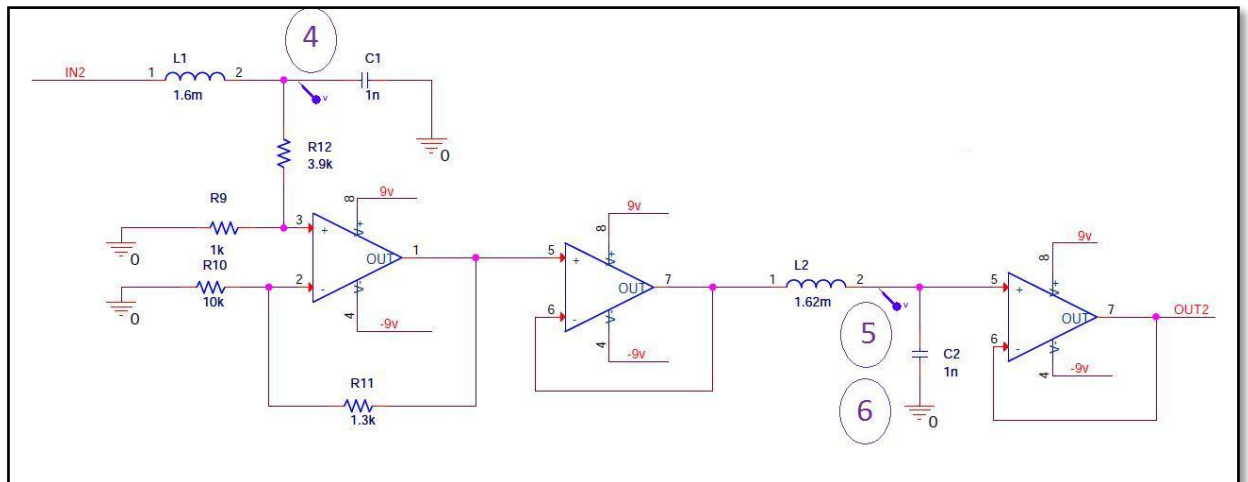


Figura 76. Circuito 2: medidas realizadas

- Medida 4. **Figura 77.** Medición realizada tras el filtro paso bajo. Se consigue una onda senoidal de 125 kHz, como se puede observar el valor de la frecuencia se ha desviado a 126.3 kHz, pero funciona correctamente.

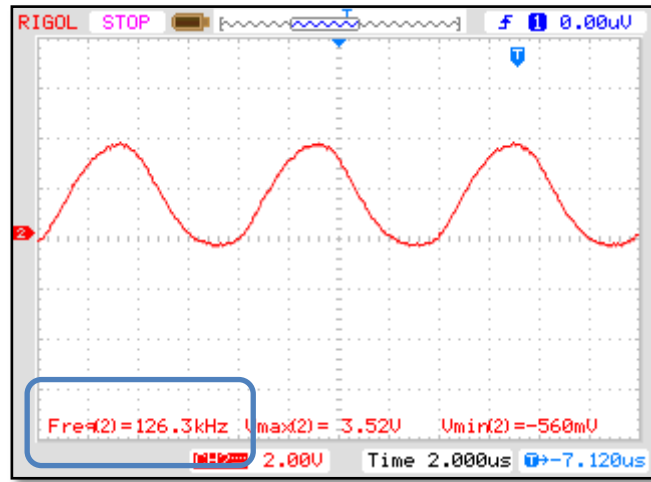


Figura 77. Medida 4

- Medida 5. **Figura 78.** Medición realizada justo después de la antena pero sin ninguna tarjeta cerca de la misma. Como se puede comprobar es una señal senoidal, con algo de ruido pero que cumple con las especificaciones de frecuencia. Este ruido se debe a que ha filtrado un armónico y por lo tanto hace que la señal no sea senoidal “pura”. Importante, la tensión es de $\pm 6\text{ V}$. En la siguiente medición veremos como varía la tensión debido a la modulación en amplitud.

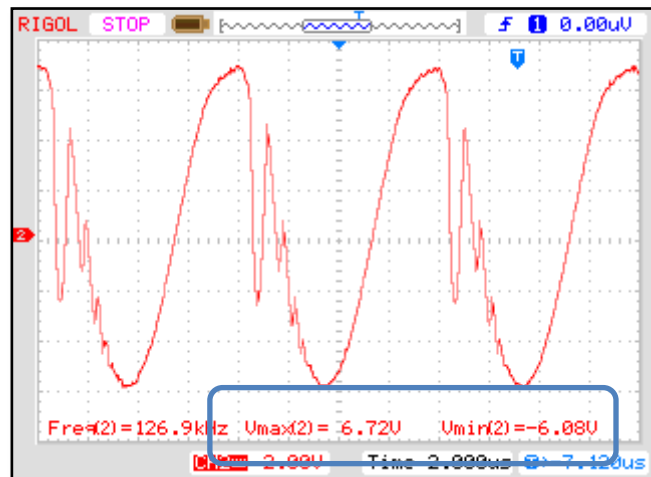


Figura 78. Medida 5

- Medida 6. **Figura 79.** Medición realizada justo después de la antena acercando una tarjeta. Vemos cómo se modula la señal en amplitud. Además se ha conseguido diferenciar claramente entre 1 y 0. 1 corresponde a los niveles de envoltura de la señal de $\pm 4\text{ V}$ y $\pm 2\text{ V}$ corresponde a 0.

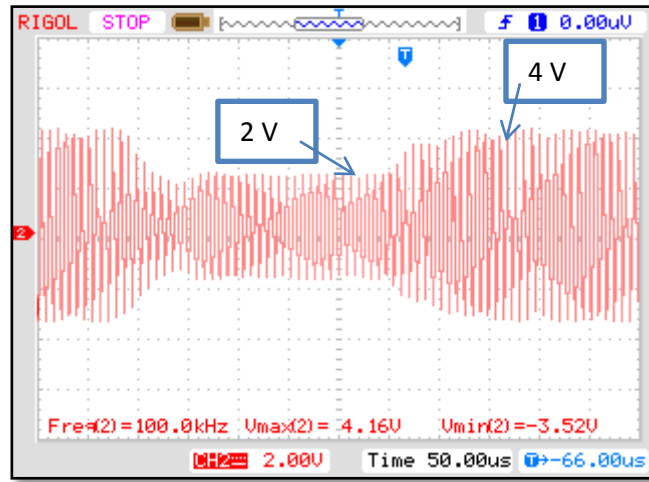


Figura 79. Medida 6

Medidas realizadas en el circuito 3.

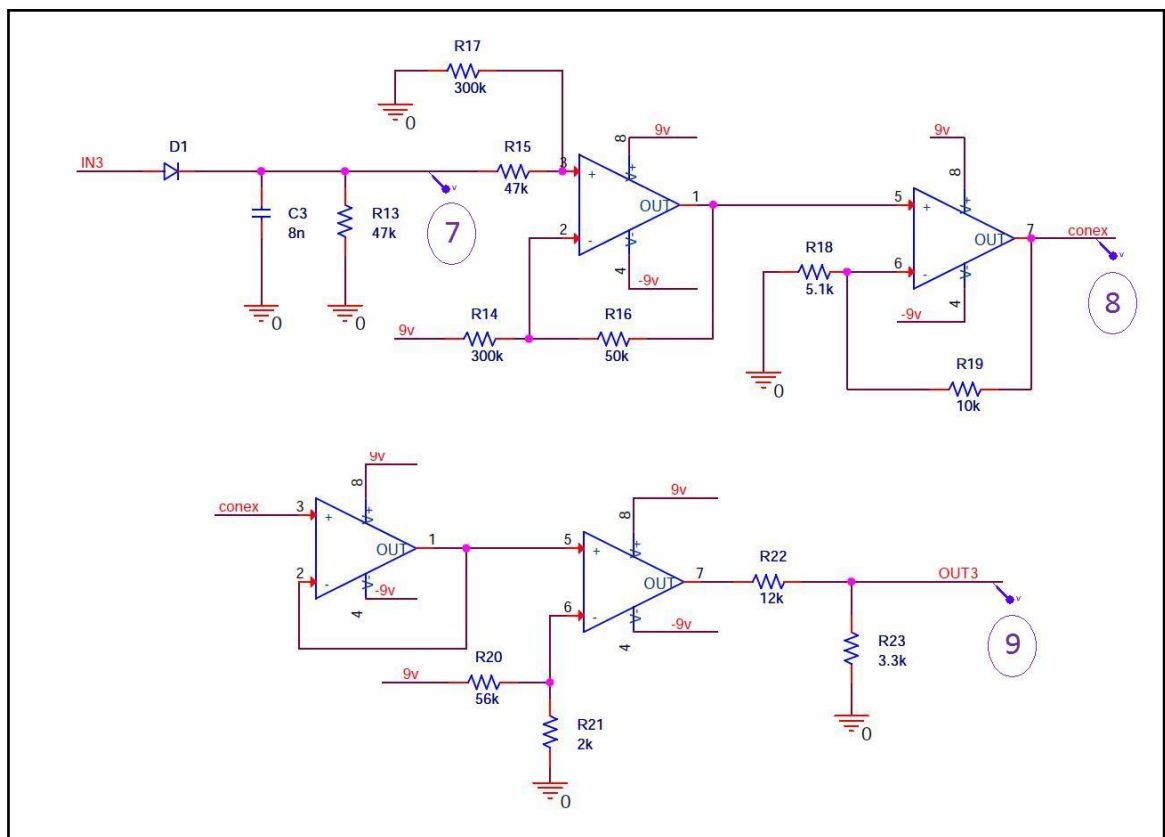


Figura 80. Circuito 3: medidas realizadas

- Medida 7. **Figura 81.** Medición realizada a la salida del detector de envolvente.

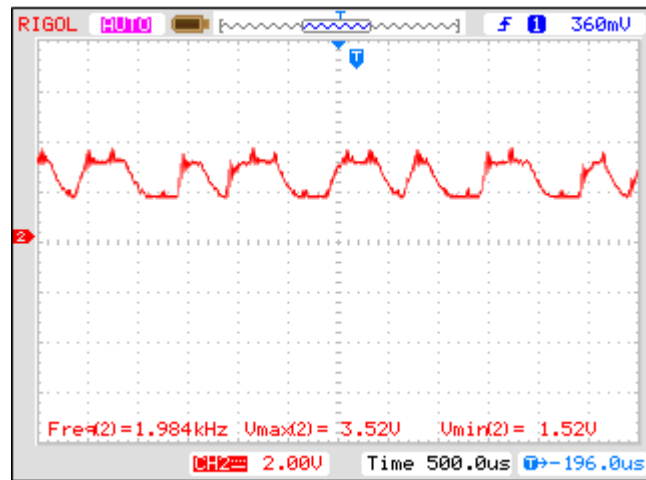


Figura 81. Medida 7

- Medida 8. **Figura 82.** Medición tras la etapa del restador inversor y el amplificador no inversor. Resulta una señal con mayor nivel de tensión respecto a la salida del detector de envolvente, esta señal es más fácil de comparar.

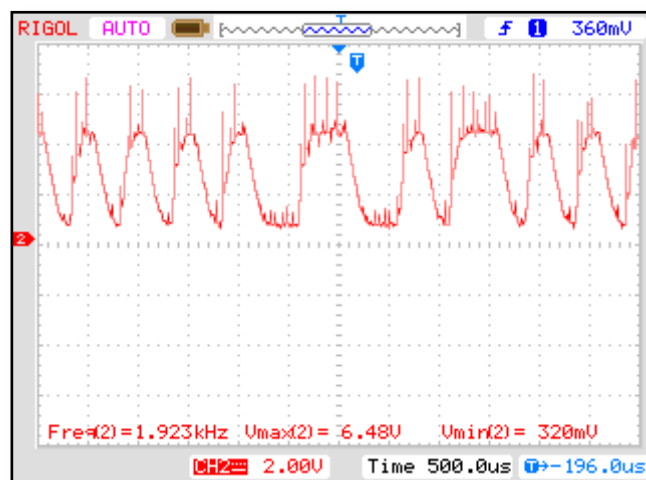


Figura 82. Medida 8

- Medida 9. **Figura 83.** Corresponde a la medición realizada a la salida del circuito 3. Como se puede observar queda una señal cuadrada. El inconveniente es el alto nivel de tensión, $\pm 8\text{ V}$, de ahí la necesidad de crear otro circuito para limitar los extremos de esta onda en $+3,3\text{ V}$ y 0 V .

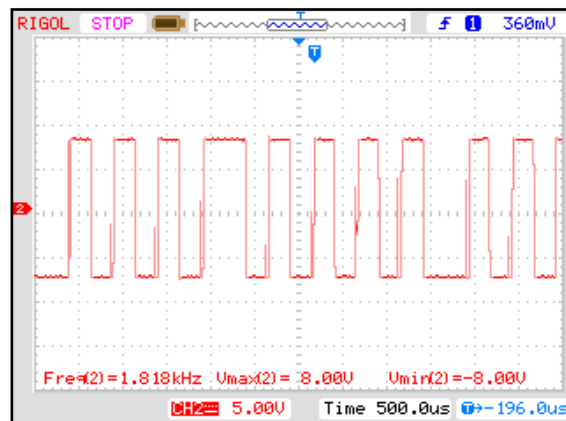


Figura 83. Medida 9

- Medida 10. **Figura 84.** Medición a la salida del comparador. Señal apta para ser medida por el micro.

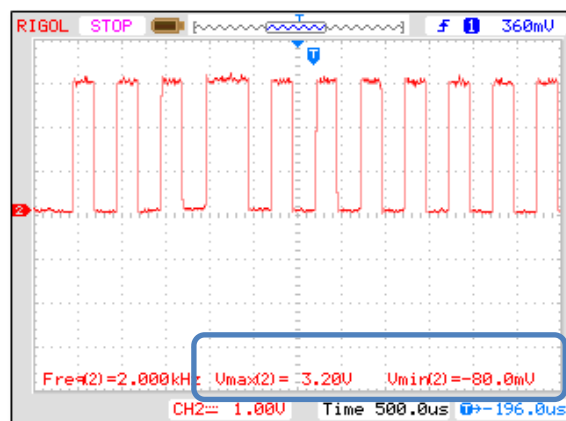


Figura 84. Medida 10 – Señal que recibe el microcontrolador

A modo de resumen de este primer apartado, se acompaña la **figura 85** que corresponde a la salida del circuito 3 junto con la señal que se mide justo después de la antena al acercar la tarjeta RFID, o lo que es lo mismo, al acercar la pieza interactiva.

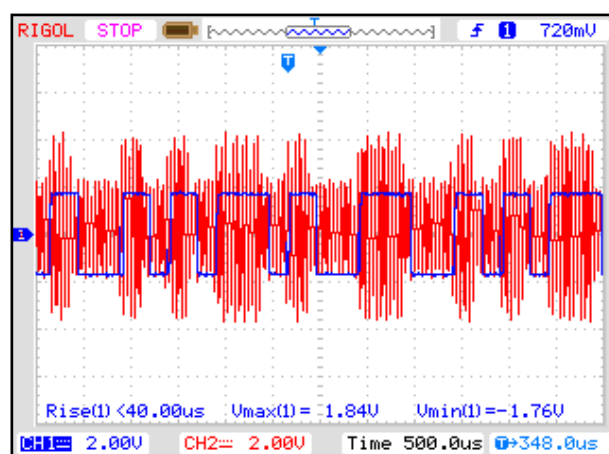


Figura 85. Medida conjunta 1

3.2 Resultado del microcontrolador.

La forma más sencilla de comprobar el funcionamiento del micro es mediante el uso de la herramienta ToolStick Terminal. Para visualizar el resultado se han adjuntado algunas capturas de este programa. Estas capturas se han tomado mientras que se realizaban las pruebas.

- **Figura 86.** Al acercar la pieza interactiva 1 se aprecia cómo el micro comienza la cuenta de flancos, y se ha repetido tres veces el mismo número de flancos. Este número corresponde a la PIEZA 1, el micro lo ha detectado y ha devuelto esta detección. Para recordar: cada una de las cuentas de flancos se realiza en 1 segundo, y por consiguiente, por pantalla también aparece cada segundo el número de flancos que se ha contado.

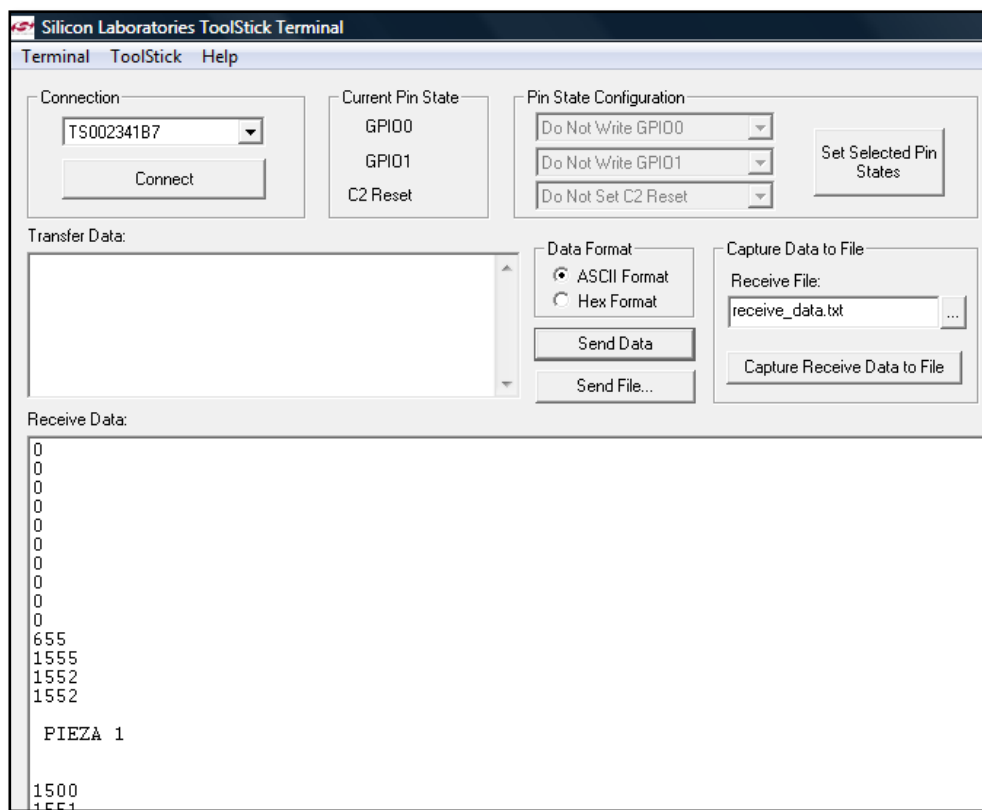


Figura 86. Resultado microcontrolador I

- **Figura 87.** Al acercar la pieza interactiva 2 el micro comienza la cuenta de flancos, una vez que se ha repetido tres veces el mismo número de flancos o como es el caso, un número de flancos que está en el mismo rango, el micro detecta la PIEZA 2. Y lo mismo con la PIEZA 3.

```
Receive Data:
133
0
0
595
1527
1522
1524

PIEZA 2
|
1471
487
0
0
361
1585
1583
1584

PIEZA 3

1528
699
0
0
24
1529
1524
1522
1522
```

Figura 87. Resultado microcontrolador II

- **Figura 88.** En esta captura comprobamos la importancia de colocar las piezas de manera secuencial. En este ejemplo ya se ha detectado la PIEZA 3, pero si se acerca la PIEZA 2, en ningún caso avanza el cuento, es decir estamos ante un error del alumno. Para que finalice la pieza interactiva se debe acercar la PIEZA 4.

```
Receive Data:
361
1585
1583
1584

PIEZA 3

1528
699
0
0
24
1529
1524
1522
1523
1523
1523
1523
654
0
0
1031
1612
1613
1613

PIEZA 4

BIEN
```

Figura 88. Resultado microcontrolador III

Para aclarar, recordar que en todo momento el cuidador es el que debe controlar la presentación en Flash, es decir, no existe conexión entre el circuito y la presentación. Esta es la razón por la que no se ha gestionado ningún tipo de error, ya que solo se avisará al cuidador cuando acierte el alumno, mediante el encendido del LED pieza acertada. No tiene sentido avisar si se ha fallado, ya que la dificultad de los cuentos no supone ningún problema para los cuidadores, de esta manera, avisando solo en caso de acierto, se ahorra en programación del micro y en implementación del circuito (nos ahorramos un LED de pieza equivocada).

3.3 Resultado Final

Se presentan las siguientes figuras para dar cuenta visual clara del funcionamiento final del sistema:

- **Figura 89.** Este es el entorno que se encuentran los alumnos al jugar. El lector, el ordenador para ver el cuento o la lección y las piezas interactivas para jugar.



Figura 89 . Entorno del sistema

- **Figura 90.** Led de encendido. Como podemos ver una vez que se enciende el lector el led de encendido permanece iluminado.



Figura 90. Detalle funcionamiento del sistema I

- **Figura 91.** Al acercar una pieza el led pieza correcta se ilumina.



Figura 91. Detalle funcionamiento del sistema II

Capítulo 4. Conclusiones y trabajos futuros

En el “Capítulo 1” de esta memoria, se hablaba de los objetivos que debía cumplir el diseño de esta ayuda técnica. De manera resumida se muestran a continuación:

- Objetivo 1. Las piezas han de ser universales.
- Objetivo 2. Las piezas deben cumplir un tamaño y una forma que facilite la interacción de los alumnos con ellas.
- Objetivo 3. La detección de las piezas se ha de hacer mediante un sistema inalámbrico.
- Objetivo 4. El lector ha de tener un tamaño adecuado acorde con el tamaño de las piezas.
- Objetivo 5. El lector debe tener algún medio de comunicación con los ordenadores del centro, para poder proyectar el cuento o lección.
- Objetivo 6. El dispositivo en conjunto debe cumplir con los principios del “Diseño para todos”.
- Objetivo 7. La lección se tiene que adaptar a las necesidades de los alumnos.

Una vez finalizado el trabajo de implementación y construcción de esta ayuda técnica se puede afirmar que se han cumplido los objetivos de manera satisfactoria.

Gracias a la tecnología de la impresora 3D se han podido crear una serie de piezas interactivas que sirvan para distintos alumnos y es más: gracias a la implementación de la tecnología RFID la interacción será totalmente inalámbrica y a su vez una misma pieza podrá servir para distintos cuentos o lecciones, ya que la codificación siempre será la misma, lo único que se ha de cambiar será el picto.

El tamaño del lector es igual al pactado con el Colegio, y en cuanto a la lección, combina lo visual con lo auditivo. Utiliza imágenes infantiles que acompañadas de sonido atraen su atención.

Durante la construcción se han ido descubriendo posibles mejoras que haría de esta ayuda técnica algo todavía más funcional. Son las siguientes:

- Implementar un software totalmente automático, para que la dependencia del avanzar o no el cuento no dependa del personal.
- Sustituir los elementos que componen el sistema electrónico por otros elementos de montaje superficial. Así se reduciría el tamaño de los circuitos.
- Utilizar una únicamente fuente de alimentación. En vez de las dos existentes. Se reduciría espacio y peso.

- Adquirir mayor número de tarjetas RFID, cuantas más tarjetas se obtengan mayor duración del cuento y mayor posibilidad de interacción de los alumnos.

A título personal, llegar hasta el final y conseguir que este cuentacuentos interactivo haya salido adelante ha supuesto un gran enriquecimiento en dos aspectos fundamentales: intelectual y personal.

¿Por qué en el intelectual? Sinceramente creo que en estos meses de tira y afloja con el trabajo de fin de grado he aprendido bastante: conceptos de RFID, cómo controlar un microprocesador, utilizar software nuevo, etc. Y lo más importante, he asentado los conocimientos de electrónica básica que he ido aprendiendo durante la carrera. Desde mi punto de vista, sin duda alguna el trabajo de fin de grado cumple perfectamente con su nombre, al final he conseguido adquirir conocimientos que hace años eran impensables.

En el aspecto personal, es difícil describirlo con palabras. Me llevo dos cosas muy importantes, el trabajo en equipo, y la satisfacción personal. El trabajo en equipo ha sido fundamental para conseguir llegar al final, pero ha sido una experiencia personal muy gratificante, ya que poder contar con mi compañero Gonzalo ha supuesto que el trabajo fuese más ameno. Que los malos momentos en los que nada funcionaba había alguien para arrimar el hombro y sobretodo, que en el momento en el que todo estaba terminado había alguien para festejarlo. Por último, quizás la razón por lo que esto ha salido adelante: la satisfacción personal de hacer algo con una finalidad como esta, ha sido la luz que ha iluminado el camino. Saber que algo que hemos estado realizando, con nuestras propias manos, iba a ayudar los alumnos del Colegio San Rafael a sacarles una sonrisa y hacerles la vida un pelín más fácil ha sido la gran motivación que ha hecho realidad este cuentacuentos interactivo.

Capítulo 5. Presupuesto

5.1 Coste Material

Descripción	Medida	Medición	Precio unitario	Precio Total
Capítulo 1: Construcción Mecánica				
Tornillo métrica 5 avellanado de zinc longitud 12mm	Ud.	16	0.039€	0.624€
Tuercas métrica 5 avellanada de zinc	Ud.	16	0.039€	0.624€
Madera de contrachapado 60x30x0.3	m ²	18		3.95€
Pegamento Instantáneo Super Glue-3	Ud.	1	4.72€	4.72€
Cola blanca	Ud.	1	2.14€	2.14€
Total				13.058€
Capítulo 2: Construcción Electrónica/Eléctrica				
Zócalo 8 pin Torneado (SPB)	Ud.	5	0.1248€	0.624€
Amplificador operacional TL082	Ud.	5	0.66€	3.3€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 10kΩ	Ud.	4	0.018€	0.072€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 3.3kΩ	Ud.	2	0.018€	0.036€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 1kΩ	Ud.	2	0.018€	0.036€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 3.9kΩ	Ud.	1	0.018€	0.018€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 1.3kΩ	Ud.	1	0.018€	0.018€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 47kΩ	Ud.	2	0.018€	0.036€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 300kΩ	Ud.	2	0.018€	0.036€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 12kΩ	Ud.	1	0.018€	0.018€
Resistencia de película de carbón de 0.25 W de 5.1kΩ	Ud.	2	0.018€	0.036€
Potenciometro multivuelatas de 0.5w y 10k	Ud.	3	1.25€	3.75€
Potenciometro multivuelatas de 0.5w y 10k	Ud.	1	2€	2€
Clema KRM2 CI recta de 5.08mm miniatura (SPB)	Ud.	11	0.198€	2.178€
Condensador cerámico de 1nF y hasta 63v	Ud.	2	0.03€	0.06€
Condensador cerámico de 8nF y hasta 63v	Ud.	2	0.03€	0.06€
Condensador cerámico de 750pF y hasta 63v	Ud.	2	0.03€	0.06€
Fuente de alimentación de tensión continua a 12v y potencia de 25 a 150w	Ud.	2	34.23€	68.45€

Tarjetas RFID 125kHz	Ud.	10	0.50€	5.00€
Starter Kit Adapter de silicon laboratories. Toolsticks, Kit adaptador, base y C8051F330	Ud.	1	29.23€	29.23€
Total				115.028€

Capítulo	Precio Total
Capítulo 1	12.06€
Capítulo 2	115.03€
Total	127.09€

5.2 Coste Personal

Para estimar los costes de personal se ha tomado como referencia los costes por hora de trabajadores adscritos a un Trabajo Fin de Grado en la Universidad Carlos III. A continuación se muestran estos costes en función de la categoría:

Ingeniero Electrónico Industrial y Automático	25€/h
Secretario	15€/h

Las cargas sobre los salarios son las siguientes:

Seguridad Social	27%
Desempleo	1,55%
Formación Profesional	0,1%
Total	28,65%

Tarea	Coste/hora	Horas	Total
Diseño e implementación	32.17€/hora	600	19300€
Documentación	19.30€/hora	60	1158€
Total			20.458€

El presupuesto TOTAL de este proyecto, teniendo en cuenta tanto el coste de material como el coste personal es de 20.585,09 €

Capítulo 6. Glosario

<i>RFID</i>	<i>Radio Frequency Identification – Identificación Radio Frecuencia</i>
<i>Lay-out</i>	<i>Diseño de distribución de elementos</i>
<i>PCB</i>	<i>Printed Circuit Board – Circuito impreso</i>
<i>LED</i>	<i>Light-Emitting Diode – Diodo emisor de luz</i>

Capítulo 7. Referencias

- [1] Gonzalo Guzmán Martín Martín “Desarrollo de una ayuda técnica para alumnos del colegio San Rafael (5): Cuentacuentos interactivo (I)” 2102
- Analog Devices·Op Amp Applications·Ed. Walter G. Jung.
http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-05/op_amp_applications_handbook.html
- M. H. Rashid·Microelectronic circuits: analysis and design·Cengage Learning·2011. UC3M Library: L/S 621.38.049 RAS
- National Semiconductor·AN-20. An Applications Guide for Op Amps·Free online at www.national.com/analog ·2009
- Paul R. Gray, Paul J. Hurst, Stephen H. Lewis, Robert G. Meyer·Analysis and Design of Analog Integrated Circuits·John Wiley & Sons·2001. UC3M Library: L/S 621.38.049.77 GRA (3rd. ed)
- Texas Instruments·Op Amps for Everyone·Ron Mancini, ed. Free online at www.ti.com ·2002
- <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Bobinas1.PDF>
- <http://es.rs-online.com/web/>

Anexo 1. Programación Microcontrolador

```
// Este programa contiene las cabeceras del programa principal, // la configuración y las
rutinas de interrupción del 8051F330
//
// Target: C8051F330/1/2/3/4/5
//
// Tool chain: KEIL Eval 'c'
//
//-----
// Includes
//-----
#include "C8051F330.h"
#include <stdio.h>

unsigned int i,j,k; //declare aquí las variables enteras de su programa (sin signo)
unsigned char c,s;
unsigned int time=0;
unsigned int fla=0;
unsigned int time1=320;
unsigned int cont=0;
unsigned int c1=0;
unsigned int c2=0;
unsigned int c4=0;
unsigned int c5=0;
unsigned int ok1=0;
unsigned int out=0;

//signed short valor_leido=0;
sbit LED = P1^3;
sbit P1_0 = P1^0;
sbit P1_1= P1^1;
sbit PIN_INT0 = P0^2;
sbit PIN_INT1 = P0^3;
sbit TI = 0x98^2;
void Init_Device(void);
void Retardo (void);
//-----
// MAIN Routine // NO TOQUE EL CODIGO DE AQUI HASTA LA SIGUIENTE
MARCA
//-----
main (void) {
Init_Device();

TI0=1;
PCA0MD &= ~0x40;
c=0;
IT1=1;
s=IT01CF;
IT01CF=s+0x80;
IE=0x87; // habilita INT1, TIMER0, INT0
//IE1=0;
```

```
//EX1=1;
P1_0=0;
P1_1=1;
while (1) {

    if (c==1)
    {
        fla++;
        c=0;
    }
    if (time==31) // 1 segundo. ESTO YA NO SE TOCA. ESTA CALIBRADO ASI
    {
        printf("\n%d",fla);
        if ((fla>1550) && (fla<1565)) // 1
        {
            c1++;
            cont=1;
            c2=0; c4=0; c5=0;
        }
        if ((fla>1520) && (fla<1535)) // 2
        {
            c2++;
            cont=2;
            c1=0; c4=0; c5=0;
        }
        if ((fla>1580) && (fla<1595)) // 4
        {
            c4++;
            cont=4;
            c1=0; c2=0; c5=0;
        }
        if ((fla>1610) && (fla<1625)) // 5
        {
            c5++;
            cont=5;
            c1=0; c4=0; c2=0;
        }
        time=0;
        fla=0;
    }
    if (c1 == 3 && cont==1 && ok1==0) // antes a 6
    {
        printf ("\n\n PIEZA 1\n\n");
        c1=0;
        ok1=2;
        out=1;
        time1=0;
    }
    if (c2 == 3 && cont==2 && ok1==2)
    {
        printf ("\n\n PIEZA 2\n\n");
        c2=0;
        ok1=4;
        out=1;
        time1=0;
    }
    if (c4 == 3 && cont==4 && ok1==4)
    {
```

```
    printf ("\n\n PIEZA 3\n\n");
    c4=0;
    ok1=5;
    out=1;
    time1=0;
}
if (c5==3 && cont==5 && ok1==5)
{
    printf ("\n\n PIEZA 4");
    printf ("\n\n BIEN\n\n");
    c5=0;
    out=1;
    time1=0;
}
if (time1<310)
{
    P1_0=1;
}
else
{
    P1_0=0;
}
}
}
// FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL
// INSERTE AQUI LA RUTINA DE INTERRUPCION DEL ADC. SE DISPARA
AUTOMATICAMENTE
void ADC0_ISR (void) interrupt 10
{
    AD0INT=0;
}
// INSERTE AQUI LA RUTINA DE INTERRUPCION DEL TIMER 0. SE DISPARA
AUTOMATICAMENTE 31 VECES/SEGUNDO
void Timer0_ISR (void) interrupt 1
{
    time++;
    if(out=1)
    {
        time1++;
        out=0;
    }
}
// INSERTE LA RUTINA DE INTERRUPCION DE LA INTERRUPCION 0. SE ACTIVA
POR FLANCO DE BAJADA
void INT0_ISR (void) interrupt 0
{
}
// INSERTE LA RUTINA DE INTERRUPCION DE LA INTERRUPCION 1. SE ACTIVA
POR FLANCO DE BAJADA
void INT1_ISR (void) interrupt 2
{

c=1;
}
```